



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences

07 Fakultät für Informations-, Medien- und Elektrotechnik
Fachbereich Photoingenieurwesen und Medientechnik

Diplomarbeit

Referent: Prof. Dr. rer. nat. Christian Blendl
Koreferent: Dipl. Ing. Jörg Schechtel

Autorin
Sonja Schulte
Mat.-Nr. 11043099

Bildvergleich mit Hilfe eines Eye-Tracking Systems und die
Untersuchung der daraus entstandenen Bildstellen im
Frequenz- und Farbbereich.

Köln, Februar 2012



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences

07 Faculty of Information, Media and Electrical Engineering
Department of Imaging Sciences and Media Technology

Thesis

First Reviewer: Prof. Dr. rer. nat. Christian Blendl
Second Reviewer: Dipl. Ing. Jörg Schechtel

Author
Sonja Schulte
Mat.-Nr. 11043099

Images compared with using an eye-tracking-system and the
analysis of the resulting image points in the range of
frequency and colours.

Cologne, February 2012

Kurzbeschreibung

Titel:	Bildvergleich mit Hilfe eines Eye-Tracking Systems und die Untersuchung der daraus entstandenen Bildstellen im Frequenz- und Farbbereich
Autor:	Sonja Schulte
Referent:	Prof. Dr. rer. nat. Christian Blendl
Korreferent:	Dipl. Ing Jörg Schechtel
Zusammenfassung:	<p>Die vorliegende Diplomarbeit beschäftigt sich mit einer Bildqualitätsanalyse der Stellen, an denen Qualitätsentscheidungen getroffen werden sowie der anschließenden Analyse dieser Bildstellen.</p> <p>Zunächst werden sechs verschiedene Fotografien mit den Optimierungsparametern Helligkeit, Schärfe, Kontrast und Neutralität bearbeitet. Um die oben genannten Bildstellen zu finden, werden diese durch 20 Probanden mit Hilfe eines Eye-Tracking Systems ermittelt. Die daraus gewonnenen Bildstellen werden dann im Frequenz- und Farbbereich durch Plug-Ins im Programm „ImageJ“ untersucht.</p>
Stichwörter:	Eye-Tracking, Bildqualität, Frequenzen, CIE L*a*b*.
Datum:	29. Februar 2012

Abstract

Title: Images compared with using an eye-tracking-system and the analysis of the resulting image points in the range of frequency and colours.

Author: Sonja Schulte

First Reviewer: Prof. Dr. rer. nat. Christian Blendl

Second Reviewer: Dipl. Ing Jörg Schechtel

Abstract: This diploma thesis deals with an image quality analysis of those places where decisions are made and quality of the subsequent analysis of these image points.
First, six different photographs are edited with the optimization parameters brightness, sharpness, contrast and neutrality, to find the above image areas which are set by 20 subjects using an eye tracking system. The image areas are then derived in the range frequency and of colors by plug-ins analyzed in the program "ImageJ".

Keywords: Eye-Tracking, decision of quality, frequencies, L*a*b- range of colours.

Date: February 29th 2012

Gliederung

1. Einleitung	1
2. Grundlagen	2
2.1 Bilder	2
2.1.1 objektive/technische Bildqualität	2
2.1.2 subjektive Bildqualität	5
2.2 Eye-Tracking System	6
2.2.1 Grundlagen und Anwendungsgebiete	6
2.2.2 verschiedene Arten von Eye-Tracking Systemen	7
2.2.3 Auswertungsmethoden	9
2.3 ROI - Region of Interest	11
2.4 Fourier Transformation	11
2.5 CIE Farbraum	13
3. Material und Methoden	15
3.1 Versuchsbedingungen	15
3.1.1 Motivwahl und Bildmanipulation	15
3.1.2 Der Paarweise Vergleich	16
3.1.3 Betrachtungsbedingungen	17
3.1.4 Rekrutierung und der Umgang mit den Probanden	18
3.2 Eye-Tracking	18
3.2.1 Grundsätzliches	18
3.2.2 Vorversuch	21
3.2.3 Hauptversuch	26
3.3 Materialien für die Auswertung	28
3.3.1 ROI - Region of Interest	28
3.3.2 Frequenzen	29
3.3.3 L*a*b*-Farbraum	31
3.3.4 statistische Grundlagen	32
4. Ergebnisse	35
4.1 Ergebnisse Eye-Tracking	35
4.1.1 Vorversuch	35
4.1.2 Hauptversuch	37

4.2 Ergebnisse Frequenzen	42
4.3 Ergebnisse L*a*b*	47
5. Diskussion	52
- Abkürzungsverzeichnis	54
- Abbildungsverzeichnis	55
- Literaturverzeichnis	57
- Eidesstattliche Erklärung	

1. Einleitung

An welchen Stellen werden auf Fotografien Qualitätsentscheidungen getroffen, wenn diese in einem paarweisen Vergleich als Original und als digital bearbeitetes Bild gegenüber stehen? Kann man durch eine Analyse dieser Stellen Rückschlüsse auf eine besonders stark veränderte Qualität zum Originalbild schließen?

Aufbauend auf der Diplomarbeit „Psychometrische Evaluierung der Bildqualität von Photo-prints“ von Caroline Hempe (November 2010) wird in dieser Arbeit mit allen sechs Fotomotiven aus dem Hauptversuch und den vier Optimierungsparametern weitergearbeitet. Die Bilder sollen Beispiele eines durchschnittlichen CEWE Kunden darstellen, deren Helligkeit, Schärfe, Kontrast und Farbneutralität bearbeitet werden. Um die interessierenden Bildstellen, (englisch: Region of Interest (ROI)), zu finden, in denen ein Betrachter eine subjektive Qualitätsentscheidung trifft, bietet sich der empirische Einsatz eines Eye-Tracking Systems an.

In einem Vorversuch werden der Ablauf und die Funktionstüchtigkeit des Eye-Tracking Systems überprüft. Die vier Probanden bekommen je ein Original und ein durch die oben genannten Parameter verändertes Bild im paarweisen Vergleich vorgesetzt. Ist der Ablauf festgelegt, werden im Hauptversuch weitere 20 Probanden getestet. Die Ergebnisse sollen hinsichtlich der Bildstellen ausgewertet werden, in denen die Entscheidung der Qualität getroffen wird.

Im Anschluss werden diese Bildstellen im Frequenz- und Farbbereich durch eigens dafür entwickelte Plug-Ins im Programm „ImageJ“ objektiv untersucht. Dazu wird jeweils die Differenz von Originalbild zu bearbeitetem Bild betrachtet und mathematisch ausgewertet.

2. Grundlagen

2.1 Bilder

Es ist unmöglich eine Fotografie so perfekt und in allen Einzelheiten wie sein Original zu erstellen. Dabei ist es egal wie hoch das Auflösungsvermögen einer Kamera, wie gut die Lichtverhältnisse zum Zeitpunkt der Aufnahme, die Entwicklung der Fotografien im Fotolabor oder die Darstellung am Bildschirm ist. Das Original ist und bleibt „perfekt“, auch wenn die Reproduktion heutzutage sehr nahe daran kommt. Es stellt sich also die Frage der Qualität eines Abbilds.

Es ist zu beachten, dass es zwei verschiedene Arbeitsweisen in der Sehphysiologie gibt. Das Betrachten einer realen, dynamischen Szenerie erlaubt in der Regel nur eine oberflächliche Wahrnehmung [vgl. Ble11]. Vornehmlich wird auf Reize reagiert, sozusagen eine Veränderung der Szenerie. Erst das Einfrieren, also das Fotografieren, dieser sich ständig ändernden Szenerie erlaubt eine eingehende Betrachtung, Analyse und Bewertung in der Tiefe. Dies liegt vor allem auch an der Größe der Fotografie, die das Motiv überschaubarer gestaltet.

Um die Qualität von Fotografien zu beurteilen, müssen bestimmte Beurteilungskriterien ausgewählt werden. Diese können entweder objektiver Natur, wie technische Werte, oder subjektiver Natur, wie die Empfindung des Beobachters, sein.

2.1.1 objektive/technische Bildqualität

Mit einer Reihe von technischen Parametern kann die Bildqualität, die eine objektiv gute Fotografie ausmacht, beurteilt werden. Betrachtet wird hier nicht die Erstellung, sondern vielmehr das Bild selber – das Ergebnis einer Fotografie.

C. Hempe hat einige dieser in ihrer Arbeit „Psychometrische Evaluierung der Bildqualität von Photoprints“ genannt: „Auflösung“, „Schärfe“, „Rauschen“, „Farbe“ und „Kontrast-

umfang“. Darauf aufbauend wird in dieser Arbeit mit den von C. Hempe ausgewählten Technologieparametern „Helligkeit“, „Schärfe“, „Kontrast“ und „Farbe“ weiter gearbeitet [Hem10].

Helligkeit

Laut dem Buch „Technische Fotografie“ von R. Zierl zählt „neben der Bildschärfe [...] [auch] die optimale Helligkeitsverteilung eines Bildes zu den wesentlichen Qualitätskriterien“ [Zie07]. Als Helligkeit bezeichnet man einen bestimmten Wert, der in einer Skala von maximal hell bis maximal dunkel liegt.

Die DIN-Norm beschreibt Helligkeit als „Stärke einer Lichtempfindung, wie sie mit jeder Farberscheinung stets [optisch] unlösbar verbunden ist“ [DIN5033-1]. Dabei sollte man beachten, dass dennoch „die Helligkeit einer Farbe [...] eine vom Farbton unabhängige Größe“ bzw. eigenständige Größe ist [Mar05].

Um einen optischen Eindruck von der Helligkeit einer Fotografie zu bekommen, empfiehlt es sich, einen Blick auf ein Histogramm [Abb. 2.1] zu werfen. Ob ein Foto zu hell bzw. überbelichtet oder zu dunkel bzw. unterbelichtet ist, kann damit ermittelt werden.

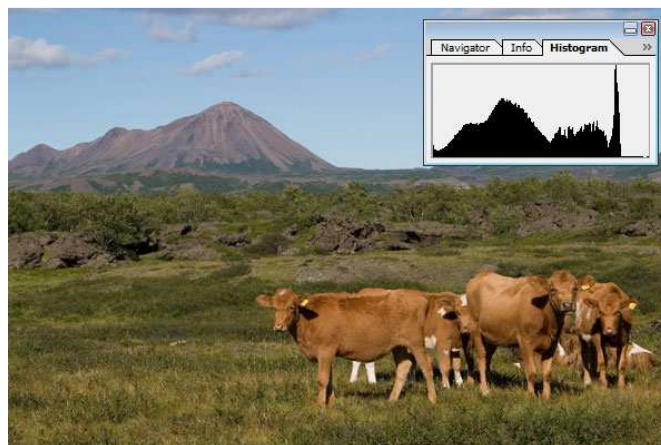


Abb. 2.1 Beispiel eines Bildes mit dazugehörigen Histogramm

Eine mathematische Definition für die Helligkeit bietet das Weber-Fechner-Gesetz (Formel 2.1). Dieses Gesetz besagt, dass der Sinneseindruck logarithmisch verläuft. Mit H für Helligkeitsempfindung, mit L für Leuchtdichte und c für eine proportionale Konstante.

$$H = c \cdot \ln \frac{L}{L_0} \quad (2.1)$$

Schärfe

Die Schärfe ist besonders gut an feinen Strukturdetails, Linien und Kanten erkennbar. Für eine scharfe Darstellung sind die Auflösung und vor allem eine möglichst hohe Kontrastwiedergabe wichtig. Insofern sind die beiden in dieser Arbeit besprochenen Parameter Schärfe und Kontrast voneinander abhängig.

Durch die Methode der Bestimmung der Modulationsübertragungsfunktion (MÜF) (englisch: Modulation Transfer Function (MTF)) (Formel 2.2) kann der Kontrastverlust in Abhängigkeit von der Ortsfrequenz technisch und somit objektiv beschrieben werden. Der Bildkontrast steht bei der MTF im Verhältnis zum Objektkontrast.

$$MTF(f) = \frac{\text{Bildkontrast}(f)}{\text{Objektkontrast}(f)} \quad (2.2)$$

Kontrast

Laut allgemeiner Definition bezeichnet der Kontrastumfang (KU) (englisch: Dynamic Range (DR)) (Formel 2.3) den Intensitätsunterschied zwischen hellster und dunkelster Stelle in einem Bild.

$$KU = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \quad (2.3)$$

Zum Kontrast gibt es eine Formel (Formel 2.4), welche die Sachlage sehr einfach mit K für Kontrast und L für Leuchtdichte beschreibt:

$$K = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \quad (2.4)$$

Wie bereits erwähnt, hängt der Kontrast dicht mit der Schärfe zusammen, was wiederum auf die oben genannte MTF Formel verweist.

Farbe

Eine Farbe wird laut einer Definition von G. Schröders „Technische Optik“: „quantitativ [durch die] Helligkeit“ und „qualitativ [durch die] Farbart, d.h. Buntton und Sättigung“ beschrieben [Sch98]. Es sollte jedoch niemals die Wirkung der Farbtemperatur des Lichtes außer Acht gelassen werden, welche eine subjektive Beschreibung einer Farbe verändern kann.

Um den Parameter Farbe durch Zahlen beschreiben zu können, gibt es sogenannte Farbmodelle wie: RGB, CMYK, YCC, HSV, HSB, HLS. Diese Farbmodelle werden in zwei Gruppen eingeteilt: Geräteabhängige und geräteunabhängige Modelle. Diese Systeme stellen Farben und deren Helligkeiten mit Zahlen und/oder Koordinatensystemen oder anderen Darstellungsformen dar.

Geräteabhängige Farbräume sind fest mit einem Gerät wie Kamera, Scanner, Bildschirm oder Drucker verbunden. Einige Farbräume können an einem anderen Gerät nicht richtig dargestellt werden, da diese Farbräume beispielsweise größer sind als andere. Um auf allen Geräten ein adäquates Farbergebnis zu erzielen, gibt es gerätneutrale Farbmodelle.

2.1.2 subjektive Bildqualität

Neben der technischen Bildqualität sollte die subjektiv empfundene Bildqualität nicht unterschätzt werden. So muss dabei bedacht werden, dass bei dieser Art von Bewertung die persönlichen Präferenzen eine sehr große Rolle spielen. Gefühle, Erlebnisse, Kulturelles, Lieblingsfarben – all dies nimmt Einfluss auf die subjektive Bewertung eines Bildes. Gerade auch Hobbys und das Interesse an speziellen Objekten wie Autos, Blumen, bestimmten Tieren oder zum Beispiel einer Frau oder einem Mann ziehen Blicke auf sich und lenken von anderen Motivinhalten ab.

Um dennoch zu einem objektiven Ergebnis zu kommen, wird das Instrument der Mittelung herangezogen. Auf diese Weise werden die subjektiven Bewertungen der Probanden in einem Mittelwert zusammengefasst und damit „verobjektiviert“.

2.2 Eye-Tracking System

2.2.1 Grundlagen und Anwendungsgebiete

Ein Mensch, der seine Umgebung betrachtet, nimmt nicht immer alles wahr, was er in Wirklichkeit mit seinen Augen fixiert hat. Ein Eye-Tracking System zeichnet aber exakt alle wahrgenommenen und nicht wahrgenommenen Stellen auf, die fixiert wurden.

„Der Gesichtssinn umfasst horizontal einen Winkel von 180° [USc09]. Der Bereich in dem der Mensch wirklich scharf sehen kann ist sehr viel kleiner und liegt bei nur wenigen Grad. Damit sich ein Mensch die komplette Umgebung anschauen kann, wird zwischen zwei Blickbewegungen unterschieden. Bei entfernteren und sich gleichmäßig bewegenden Objekten (z.B. ein vorbeifahrendes Auto) wird das Objekt im Ganzen verfolgt. Hier wird nicht nur die Pupille, sondern auch der Kopf und oft auch der Oberkörper in einer relativ langsamen und gleichmäßigen Bewegung bewegt. Wird ein stehendes Objekt betrachtet, so entstehen Sakkaden und Fixationen. Fixationen sind die Punkte, die das Auge fixiert. Sakkaden sind die ruckartigen, schnellen Augenbewegungen, die die Verbindung von einem Fixations-Punkt zum nächsten darstellen.

Die Gebiete der Anwendung sind weit gestreut von der Forschung bis hin zur Programm-entwicklung oder auch im privaten Bereich. Entwickler von Computerprogrammen und Websites testen die Funktionstüchtigkeit und Bedienungsfreundlichkeit. Das Einkaufsverhalten des Kunden wird getestet, um Produkte in einem Supermarkt geschickt in Szene zu setzen – eben genau da, wo der Kunde am häufigsten hinschaut. Nicht zu vergessen ist die Werbung, die so die Blickrichtung der Menschen zu ihrem Vorteil nutzt. Des Weiteren gibt es Untersuchungen von Psychologen und Neurowissenschaftlern. Eine interessante Anwendung des Eye-Tracking ist die Bedienung eines PCs von

Querschnittsgelähmten oder Menschen, die aus anderen Gründen ihre Arme nicht zur Eingabe beim Arbeiten an einem PC benutzen können.

2.2.2 verschiedene Arten von Eye-Tracking Systemen

Grundlegend werden Eye-Tracking Systeme in zwei Gruppen unterteilt. Es gibt die kopfbasierenden und die berührungsfreien Systeme.

Kopfbasierende bzw. Head-mounted Eye-Tracker [Abb. 2.2 a)] haben den Vorteil, dass man die Apparatur selber am Kopf durch eine Art Helm oder eine Brille befestigen kann und der Proband somit absolut bewegungsfrei ist. Dies wird z.B. bei der Analyse des Einkaufsverhaltens im Supermarkt angewendet.

Wird die zweite Variante genutzt, die berührungsfreien bzw. Remote-Eye-Tracker Systeme, so sind starke Kopfbewegungen nicht erlaubt; dafür trägt der Proband keine schweren oder störenden Apparaturen am Kopf und kann sich ganz auf den Versuch am Bildschirm konzentrieren. Diese Variante arbeitet mit Sensoren oder Ein- oder Mehrkamerasystemen, die die Augenbewegungen aufzeichnen. Was beim Versuch am Bildschirm geschieht, wird direkt vom Rechner mit der Kamera, der sogenannten Augenkamera, synchronisiert und die Fixpunkte definiert.

Nachfolgend eine kurze Übersicht über einige Systeme.

- Kontaktlinsen (elektromagnetisches Spulen-System) [Abb. 2.2 b)]:

Ein sehr genaues System, mit dem der Proband eine spezielle Kontaktlinse im Auge hat.

- Elektrookulogramm [Abb. 2.2 c)]:

Hierbei werden Hautelektroden in der Nähe der Augen angebracht und zeichnen somit die Bewegungen des Auges auf. Verwendet wird dies meist zu „Diagnosezwecken am Gleichgewichtsorgan“ [HUB12] oder auch in der Schlafforschung, da es auch mit geschlossenen Lidern funktioniert.

- Video-Okulographie (VOG):

Es wird „die Stellung von Iris, Sklera und Pupille zur Position des Kopfes“ [HUB12] mit Hilfe von Kameras aufgezeichnet. Das System benutzt dafür mindestens eine Augenkamera (Aufzeichnung des Auges) und eine Blickfeldkamera (Was sieht der Proband?), die auf einer Helmvorrichtung angebracht sind.

- Scanning-Laser-Ophthalmoskop

Ein oft in der Augenmedizin oder Leseforschung eingesetztes System, bei dem Reize oder Texte direkt „auf die Netzhautareale projiziert werden und [bei dem] durch die Apparatur die genaue Lokalisation des Textes beobachtet“ wird [HUB12].

- Lichtreflektionen am Auge (z.B. EyeGaze Analysis System) [Abb. 2.3]:

Für diese Arbeit und auch für andere Versuche dieser Art (z.B. Websiteanalyse) ist dies eine sehr effektive und komfortable Kategorie des Eye-Trackers. Durch infrarote Leuchtdioden wird auf der Pupille des Probanden ein Lichtpunkt projiziert, der dann durch Augenkameras aufgenommen und mit den Bildern auf dem Bildschirm synchronisiert wird. Mit dieser Methode können auch Probanden mit Kontaktlinsen oder Brille getestet werden.

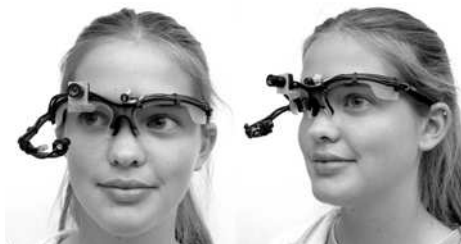


Abb. 2.2 a) Beispiel eines kopfbasierenden Eye-Tracking Systems in Form einer Brille



Abb. 2.2 b) Beispiel der elektromagnetischen Kontaktlinsen



Abb. 2.2 c) Beispiel eines Elektrookulogramms



Abb. 2.3 Das Eye-Gaze System mit zwei Augenkameras

2.2.3 Auswertungsmethoden

Die Auswertung der Eye-Tracking-Versuche kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden. Nicht jedes Programm umfasst alle Methoden.

- Area of Interest (AOI) [Abb. 2.4 a)]:

Dies sind vom Versuchsleiter festgelegte Bereiche, welche die Anzahl und Zeit der Fixpunkte genau aus diesem Bereich darstellen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die prozentuale Blickauslastung z.B. bei einer Internetseite zu errechnen.



Abb. 2.4 a) Beispiele für Area of Interest

- Heat-Maps oder Aufmerksamkeitslandschaft [Abb. 2.4 b)]:

Dies sind Bereiche, die sich der Proband laut Auswertung angeschaut hat. Meist werden diese Stellen als „Wolken“ mit einem Intensitäts- oder Farbverlauf dargestellt oder nur der Teil sichtbar gemacht, den sich die Probanden anschauten.



Abb. 2.4 b) Beispiele für Heatmaps

- Scanpath oder Blickpfadanalyse [Abb. 2.4 c)]:

Hier werden Fixationen in Form von Punkten und Sakkaden als Verbindungslinien in chronologischer Reihenfolge dargestellt. Je größer der Punkt, desto länger wurde diese Stelle fixiert. Diese Methode kann mehrfach interpretiert werden. So lässt sich das Augenmerk auf die Anzahl oder die Dauer der Fixationen richten. Möglich wäre auch eine Auswertung bezüglich der Sakkadenlänge und Sakkadendauer.



Abb. 2.4 c) Beispiel für eine Blickpfadanalyse

2.3 ROI – Region of Interest

Die ROIs werden vom Betrachter meistens mehrmals hintereinander fixiert. Sie fallen oft wegen ihrer Farbe oder Muster auf.

Wird über ROIs gesprochen, so sollte auch das Sehverhalten und der Aufbau des Auges betrachtet werden. Der foveale Wahrnehmungsbereich ist der Bereich, in dem das Auge am schärfsten sehen kann. Anatomisch wird dies durch den gelben Fleck beschrieben, ein sehr kleiner Bereich auf der Netzhaut des Auges, in dem ausschließlich nur die Zapfen angesiedelt sind; Zapfen sind für das Farbsehen zuständig. Dieser Bereich besteht gerade mal aus 2° des Gesichtsfeldes. Das Gesichtsfeld bezeichnet den „Öffnungswinkel, unter dem die betreffende Farbfläche gesehen wird“ [DIN5033-1]. Die CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) hat dies auch die „ 2° Normalwert-spektralfunktion“ oder auch „ 2° -Normalbeobachter“ genannt [DIN5033-2].

2.4 Fourier Transformation

In der allgemeinen Signalverarbeitung - in diesem Fall die digitale Bildverarbeitung - ist die Fourier Transformation ein sehr wichtiges Verfahren. Ein Bild wie wir es kennen, mit Farbwerten und Strukturen, im Zeit- oder Ortsraum (Anordnung von Pixeln) präsentiert. Nach einer Transformation in den Frequenzraum (auch Fourierraum) wird das Bild in Frequenz- und Phasenanteile dargestellt. So lassen sich einige Operationen, wie die Entfernung von periodischen Störmustern, besser durchführen und Bilder sich als reine Frequenzen objektiv darstellen. Laut DIN-Norm 5487 wird eine Funktion von $f(t)$ nach $g(v)$ transportiert. Wobei t für den Zeitraum steht und $v = 1/t$ für den Frequenzraum [vgl. DIN5487]. Bei der Transformation selber werden keine Daten verändert, sondern als eine andere Art von Darstellung der Daten ausgegeben.

Ist etwas im Ortsraum breit, so wird es im Fourierraum ganz schmal dargestellt; ist etwas im Ortsraum schmal, so wird es breit dargestellt. Gibt es im Ortsraum vertikale Strukturen, so werden diese im Frequenzraum waagerecht dargestellt. Große Kontraste in einem Bild ergeben im Frequenzraum hohe Frequenzen und im Gegensatz führen weiche

Farbübergänge demnach zu niedrigen Frequenzen [vgl. Lük95]. Um die Fourier-Transformation zu verdeutlichen, hier ein paar Beispiele in 2D [Abb. 2.5; 2.6].

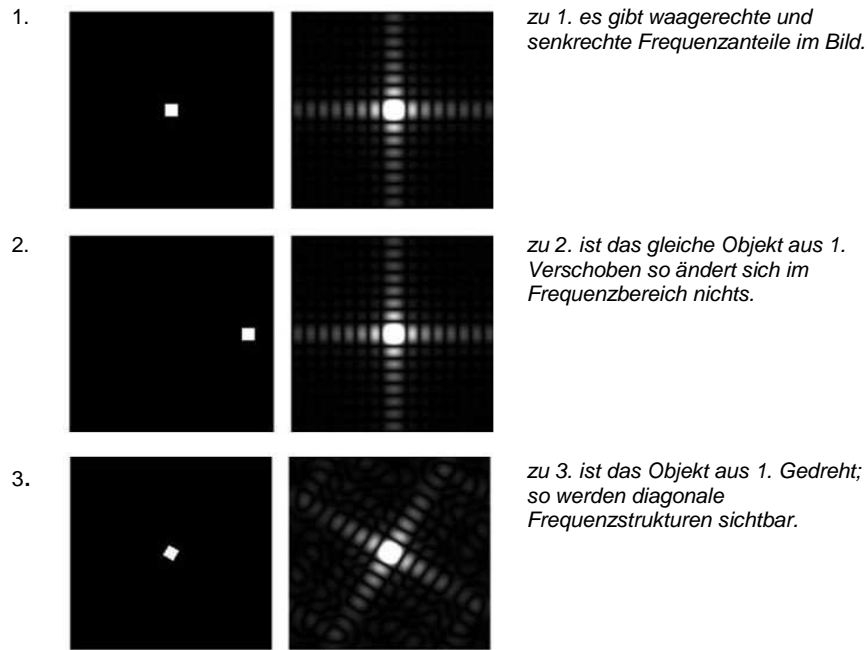


Abb. 2.5 links Original (Ortsraum) und rechts Amplitudendarstellung (Frequenzraum)

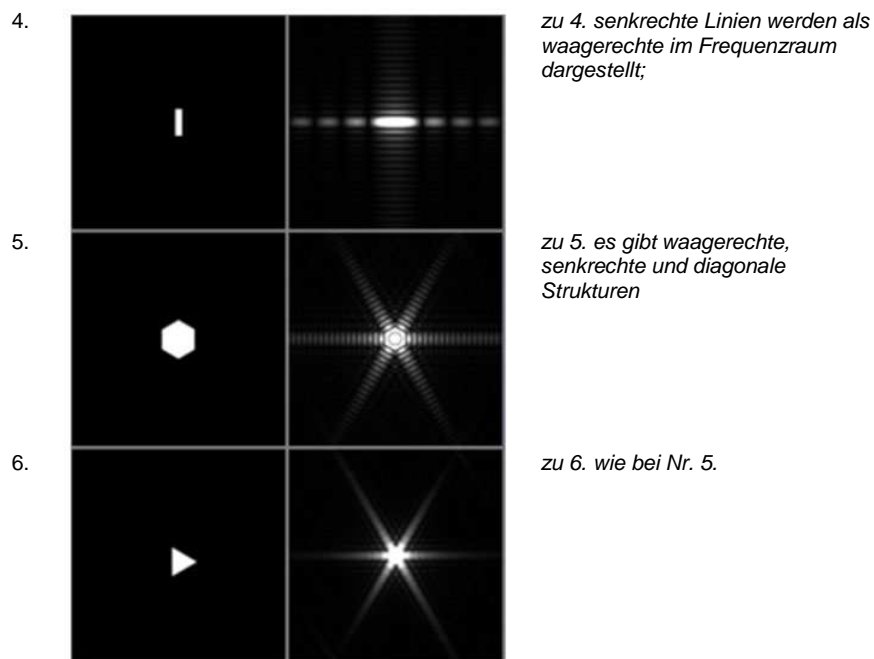


Abb. 2.6 links Original (Ortsraum) und rechts Amplitudendarstellung (Frequenzraum)

2.5 CIE Farbraum

Ein grundlegender Bestandteil der technischen Beschreibung von Bildern ist die Farbe. Wie bereits erwähnt, gibt es mehrere Farbmodelle, um Farbe in Form von Zahlen und 2- oder 3-dimensionalen Koordinatensystemen definieren. Die CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, 1931) empfiehlt zwei Farbräume [Abb. 2.7], die eine „bessere Übereinstimmung zwischen geometrischem und empfundenen Abstand“ darstellen [DIN5033-3]. Empfohlen wird das CIELUV (oder auch $L^*u^*v^*$) Modell und das CIELAB (oder auch $L^*a^*b^*$) Modell, die sich aus dem xyz-Farbraum (x für rot, y für grün und z für blau) errechnen.

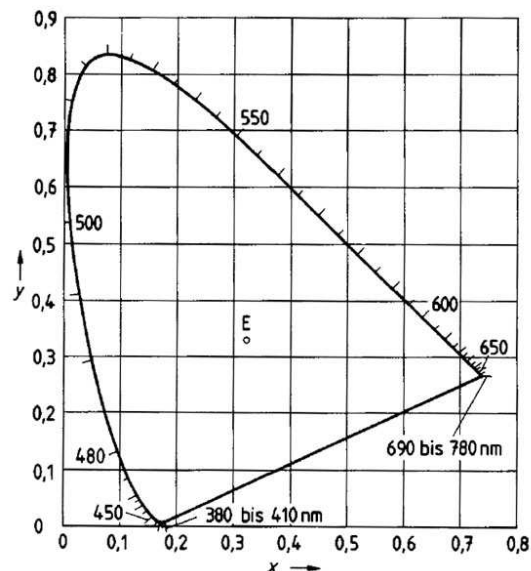
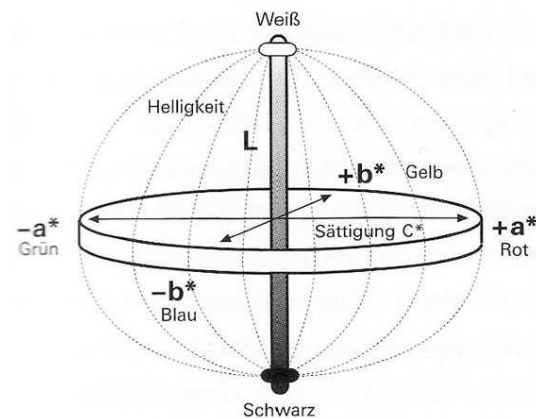


Abb. 2.7 CIE Farbraummodell

Das $L^*a^*b^*$ -Modell trennt die Helligkeits- und Farbinformationen voneinander [Abb. 2.8]. So beschreibt L^* die Helligkeit (schwarz bis weiß), a^* die rot-grün Achse und b^* die gelb-blau Achse [vgl. DIN6174].

Abb. 2.8 CIE $L^*a^*b^*$ Farbmmodell

Aus dem CIELAB Modell kann der empfundene Farbabstand zweier Farbproben berechnet werden (Formel 2.5). Dieser ist an die menschliche Farbempfindung angepasst. Er wird als Delta E, dE oder ΔE bezeichnet. [vgl. DIN5033-3]

$$\Delta E = \sqrt{(L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

$$\Delta E = \sqrt{(L1^* - L2^*)^2 + (a1^* - a2^*)^2 + (b1^* - b2^*)^2} \quad (2.5)$$

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsbedingungen

3.1.1 Motivwahl und Bildmanipulation

Da sich diese Arbeit dicht an der Arbeit von C. Hempe [Hem10] anschließt, werden die von ihr sorgfältig ausgewählten Bilder auch hier übernommen. Für ein besseres Verständnis sind die Bezeichnungen der Bilder und Parameter an C. Hempes Arbeit angelehnt.

Nachfolgend eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Anhaltspunkte:

Grundlegend für die Bilder der Aufgabenstellung ist, dass deren Motivinhalte dem Amateurbereich entsprechen. Damit sind Fotografien eines durchschnittlichen Kunden der Firma CEWE¹ gemeint.

Nach einer Angabe aus der Arbeit von C. Debus [Deb97] in der Arbeit von C. Hempe sollen solche Bilder ausgewählt werden, die „feine Details zur Schärfewertung, natürliche Farben wie Himmelblau, Blattgrün und Hauttöne, neutrale Flächen mit kontinuierlichen Dichteverläufen, sowie ein hoher Kontrastumfang mit differenzierten Details in Lichtern und Schatten“ besitzen [Hem10]. Weiterhin ist darauf zu achten, dass „die Motive nicht zu hoch emotionale Reaktionen [...] auslösen, sowohl im positiven wie auch im negativen Sinn“ [Hem10].

Die oben erwähnten Bilder werden im weiteren Verlauf nach ihren Motiven „Auto“, „Blumen“, „Haus“, „Landschaft“, „Menschen“ und „Schnee“ [Abb. 3.1] benannt. Sie wurden von M. Selbach (Fotograph) fotografiert, der hierfür eine Canon EOS 10D verwendete. Die Ausnahme bildet das Blumenmotiv, welches mit derselben Canon Kamera von C. Hempe selbst hinzugefügt wurde.

¹ Die Firma CEWE Color ist ein Fotodienstleister vor allem im Bereich Internethandel.



Abb. 3.1 Originalbilder für die Versuchsreihe: Auto, Blumen, Haus, Landschaft, Menschen und Schnee

3.1.2 Der Paarweise Vergleich

Es gibt mehrere Möglichkeiten, einen Vergleich von Bildern aufzustellen. Da es sich hier um den direkten Vergleich von immer einem Originalbild mit einem der dazugehörigen parameterveränderten Bildern (siehe Kapitel 3.2.2) handelt, bietet sich der sogenannten „Paarweise Vergleich“ an. Die Vergleichsart filtert die ROIs heraus, in denen die Entscheidung der Qualität getroffen wird. Dabei vergleicht der Proband das Original mit einem der Parameterbilder und soll anschließend entscheiden, welches der Bilder er als schöner empfindet.

Es wird davon ausgegangen, dass der Proband wahrscheinlich auf beiden Bildern die gleichen Objekte vergleicht, um seine Meinung zu treffen. Der Vergleich der Fixationspunkte auf beiden Bildern ergibt die ROIs, die für die spätere Auswertung nötig sind.

Als Hintergrundfarbe empfiehlt sich ein neutrales Grau², um nicht von der eigentlichen Aufgabe abzulenken oder sogar die Antwort zu beeinflussen.

3.1.3 Betrachtungsbedingungen

Da der Proband auf einen Bildschirm schaut, sollte die Helligkeit des Umgebungslichts angepasst sein. Eine zu helle Umgebung könnte den Probanden vom Versuch ablenken, da alle Gegenstände im Raum sichtbar sind. Eine zu dunkle Umgebung würde den Bildschirm zu hell erscheinen lassen was dem Probanden unangenehm sein könnte. Ein konzentriertes Arbeiten wäre hierdurch erschwert. Erfahrungsgemäß sollte dem Probanden ein wenig Zeit für die Lichtadaption³ gegeben werden. Deswegen wird der Proband einige Minuten vorher auf die Versuchsbedingungen vorbereitet.

Für den Paarweisen Vergleich sollen sich die Probanden so viel Zeit nehmen, wie sie für ihre Entscheidung benötigen, das heißt, die Dauer ist nicht relevant. Einzige Bedingung ist, dass sie sich für eines der beiden Bilder entscheiden.

Des Weiteren soll die Anzahl der zu beurteilenden Bilder möglichst gering gehalten werden, um den Probanden in „zeitlicher, physischer und körperlicher Hinsicht nicht über Gebühr zu belasten“ [Grü11].

Empfehlenswert ist es auch, kleine Pausen von wenigen Sekunden zwischen den einzelnen Vergleichspaaren zu setzen. So wird die Vigilanz⁴ nicht durch zu viele kurz nacheinander folgende Informationen geschwächt [vgl. Ble11; Grü11]. Auch hier empfiehlt sich der Einsatz einer neutralen Graufäche.

² neutrales, mittleres Grau ohne Farbstich. In der Fotografie in Form von Graukarten genutzt um die richtige Belichtung zu ermitteln. Diese Karten haben eine optische Dichte von $D=0,75$ und einen Reflexionsgrad von 18%.

³ Lichtadaption: Das Auge passt sich der Helligkeit bzw. Dunkelheit.

⁴ Vigilanz = Wachheit oder auch Daueraufmerksamkeit

3.1.4 Rekrutierung und der Umgang mit den Probanden

Für die Eye-Tracking Versuchsreihe werden circa zwei Dutzend Probanden benötigt [vgl. Ble11]. Bei dieser geringen Anzahl reicht es, diese im eigenen sozialen Umfeld zu rekrutieren.

Um mit einer möglichst repräsentativen Gruppe zu arbeiten, sollte auf eine Mischung aus Männern und Frauen gleichermaßen geachtet werden. Des Weiteren sollte eine Auswahl sowohl von Experten, die in ihrem Beruf oder Hobby mit Fotografien oder mit der Bewertung der Qualität von Bildern arbeiten, als auch Laien, die nicht im geringsten mit dem Thema zu tun haben, getroffen werden. Das Alter sollte im Durchschnitt zwischen 30 und 40 Jahren betragen, kann aber ein wenig variieren. Diese Altersgruppe verfügt über eine gewisse Seherfahrung, ohne dass sich altersbedingte Sehprobleme allzu sehr einstellen [vgl. Ble11].

Laut einem persönlichen Gespräch mit Dipl. Psych. T. Gründler sollte vor dem Versuch der Versuchsleiter in einem kurzen Gespräch dem Probanden eine kleine Einweisung in den Versuchsablauf geben, die nicht zu viel verrät, um eine vorgeprägte Meinung zu vermeiden [vgl. Grü11]. Danach ist der Proband grundlegend informiert und somit nicht zu sehr aufgeregt.

3.2 Eye-Tracking

3.2.1 Grundsätzliches

Das System

Für diese Versuchsreihe wird das „Eyegaze Analysis System™“ genutzt. Das System gehört zu den Remote-Video-Tracking-Systemen und ist somit berührungsfrei.

Das „Eyegaze Analysis System™“ besteht aus einem PC inklusive Bildschirm, zwei Kameras mit LEDs [Abb. 3.2], die unter dem 19-Zoll Bildschirm befestigt sind, Monitor zur Überprüfung der Augen-/Pupillenposition des Probanden sowie Tastatur und Maus. Die Software Nyan2.0 wird mit der Hardware geliefert.

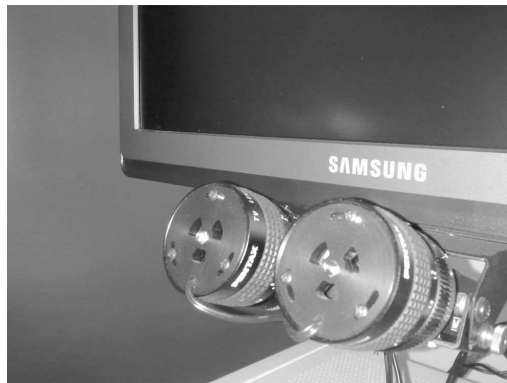


Abb. 3.2 Das Eyegaze Analysis System™ mit den beiden Augenkameras

Laut Hersteller [EAS09] hat es eine hohe Genauigkeit der fixierten Punkte mit einer Abweichung von maximal $0,4^\circ$ und eine „große Toleranz gegenüber Variationen wie Pupillendrift und Kopfbewegungen“ [Int11]. Das System eignet sich auch für die meisten Brillen- und Kontaktlinsenträger.

Die Videokameras haben eine Frequenz von 60 Bildern/sec und somit eine höhere Rate als eine normale Videokamera mit 25 Bildern/sec. Durch den Lichtpunkt, der durch die LEDs auf die Pupille projiziert wird, errechnet das System die Stelle, die der Proband mit seinen Augen fixiert.

Das Programm Nyan2.0 – Eye Tracking Data Analysis Suite

Das Programm Nyan2.0 ist speziell für die Durchführung und Auswertung von vielen Arten von Eye Tracking Analysen konzipiert, die am Bildschirm durchgeführt werden. Laut Hersteller der Software, Scoreberlin®, liefert die Arbeit mit dem Programm „objektive Daten über die Aufmerksamkeit, Wahrnehmung und Informationsverarbeitung von Nutzern“ [Sco11]. Es ist Bewegtbild- sowie Webkompatibel, lässt eine interaktive Userbenutzung zu und kann diese auswerten.

Zur Auswertung gibt es eine Reihe von Methoden: Scanpath (Blickverläufe), Sinn Builder/Heatmaps (Blickdichte), Clickmaps oder AOI (Areas of Interest).

Kalibrierung

Für die Durchführung eines Versuchs muss der Proband zunächst im Abstand zwischen 50 und 60 cm zu dem Bildschirm positioniert werden, sodass er den kompletten Bildschirm betrachten kann, ohne den Kopf zu bewegen. Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass beide Augen komplett im Sichtfeld der Kameras sind. Dies kann der Versuchsleiter für die Zeit des Versuches auf dem Kontrollbildschirm erkennen. Hat der Proband anatomisch oder wegen seiner Sitzposition eine schräge Haltung, so lässt sich der Bildschirm durch seine variable Halterung anpassen. Auch die Größe des Probanden kann ausgeglichen werden.

Wie auf dem Bild [Abb.3.3] zu erkennen ist, wird links die Pupille mit einer kleinen, punktförmigen Reflexion und rechts das komplette Auge gezeigt. Die Reflexion entsteht durch das infrarote Licht, welches von LEDs aus der Mitte der Kameras ausgesendet wird. Diese Methode wird Cornea-Reflex-Methode genannt. Beim Scharfstellen des Kamerabildes muss darauf geachtet werden, dass der Fokus der Kamera auf unendlich eingestellt und der breite Strich zwischen den beiden Bildern in der Mitte platziert wird [Abb.3.3]. Ist der Proband zu nah an der Kamera, so färbt sich das Bild rot, muss der Proband näher an die Kamera heranrücken, färbt es sich grün. Ein grau eingefärbtes Bild zeigt den richtigen Abstand zur Kamera an.



Abb. 3.3 Einstellungsvorgang der Augenkameras

Sobald alles ordnungsgemäß eingestellt ist, darf die Position nicht mehr verändert werden und der Proband muss für etwa eine Sekunde in die Kamera schauen, um die Kalibrierung zu starten. Nach einem Signalton erscheint ein weißer Bildschirm, auf dem ein kleiner Kreis zu sehen ist, den der Proband fixieren muss. Wurde der Punkt für etwa eine Sekunde fixiert, erscheint der nächste von insgesamt neun Punkten, die ebenfalls nacheinander fixiert werden müssen. Wurden alle Punkte nacheinander fixiert, kann mit dem Versuch begonnen werden. Dies geschieht automatisch unmittelbar nach einer erfolgreichen Kalibrierung [Abb. 3.4].

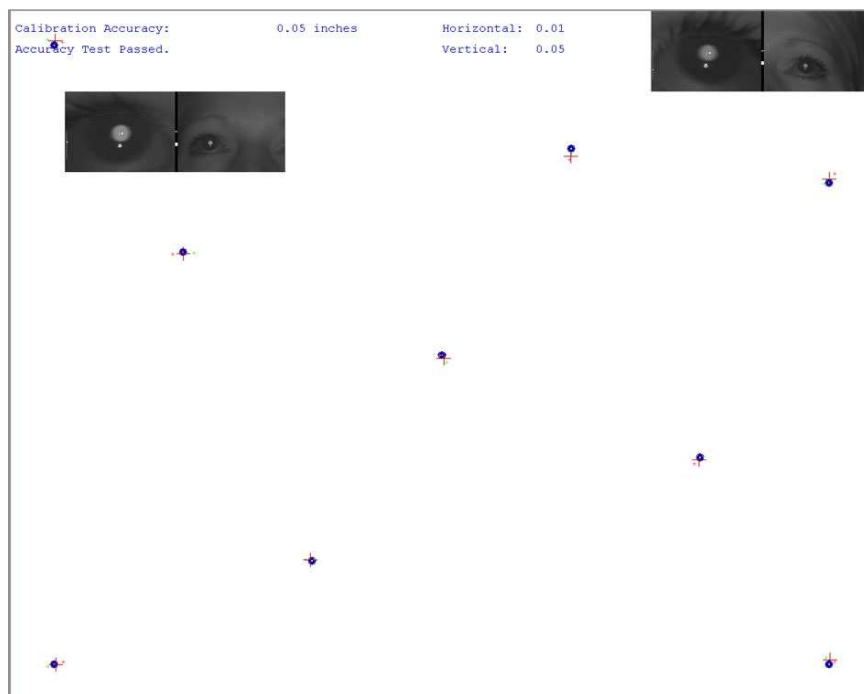


Abb. 3.4 Kalibrierungsvorgang der Augenkameras

3.2.2 Vorversuch

Im Vorversuch werden zunächst der probandenfreundliche Ablauf und die Funktionsfähigkeit des Systems getestet; für diesen genügen vier Probanden. Ob männlich oder weiblich ist zunächst nicht relevant. Wichtig ist allerdings, dass mindestens einer der Probanden eine Brille und ein anderer Kontaktlinsen trägt, um auch hier die Funktions-

tüchtigkeit zu prüfen. Des Weiteren wird überprüft, ob die ROIs der vier Probanden auseinanderlaufen oder wünschenswerterweise übereinstimmen.

Um den genauen Ablauf wie auch später im Hauptversuch sicher zu stellen, werden die Bilder schon in der gleichen Reihenfolge hintereinander aufgestellt. Dies bedeutet jedoch, dass die Probanden aus dem Vorversuch später nicht im Hauptversuch teilnehmen dürfen, da sie die Motive und den Ablauf schon kennen und somit die Ergebnisse der ROIs verfälschen könnten.

Der Vorversuch findet in der Fachhochschule Köln statt. Er wird in einem speziellen, fensterlosen Labor mit gleichmäßiger Ausleuchtung und dimmbaren Licht ohne Farbstich durchgeführt [Abb. 3.5]. Es ist darauf zu achten, dass keine Bilder, Blumen oder andere ablenkende Dekorationen im Blickfeld des Probanden stehen. Sollten dennoch störende Lichtquellen oder Reflektionen im Raum sein, sind diese zu entfernen.



Abb. 3.5 Laborumgebung

Checkliste für den Versuchsaufbau

- Eye-Tracking System (Bildschirm, Rechner, Eye-Tracking Kameras, Augen-Kontrollmonitor, Tastatur, Maus)
- Block und Stift für Notizen
- Stuhl mit Kopfstütze für den Probanden
- Stuhl für den Versuchsleiter (außerhalb des Sichtfeldes des Probanden)

Die Bilder

Es gibt sechs verschiedene Originalbilder, die mit den vier Gestaltungsparametern (Helligkeit, Kontrast, Schärfe, Farbneutralität) mit je positivem und negativem Werten durch die Bildverarbeitungssoftware aus der Bachelorarbeit von J. Achatzi bearbeitet werden. Die Veränderung der Parameter erfolgt in die positive und negative Richtung in zwei Einstellstufen [Abb. 3.6] wie auch bei C. Hempe, um einen möglichst stark sichtbaren Unterschied zu erlangen [Abb. 3.7]. Daraus resultieren 48 paarweise Vergleich-Vorlagen (6 Originalbilder mit je 8 Parametereinstellungen).

	delta D - Helligkeit		gamma - Kontrast		Neutralität		Schärfe	
	dunkler	heller	rein	raus	blau	gelb	scharf	unscharf
Haus	0,8	-0,15	1,35	0,65	0,02	-0,02	2,8	0,4
Schnee	0,8	-0,15	1,35	0,65	0,02	-0,02	2,8	0,4
Menschen	0,8	-0,15	1,35	0,65	0,02	-0,02	2,8	0,4
Auto	0,8	-0,15	1,35	0,65	0,02	-0,02	2,8	0,4
Blumen	0,8	-0,15	1,35	0,65	0,02	-0,02	2,8	0,4
Landschaft	0,8	-0,15	1,35	0,65	0,02	-0,02	2,8	0,4

Abb. 3.6 Einstellstufen der Parameter

Diese Vorlagen werden im Programm Adobe Photoshop CS erstellt. Das heißt, auf neutralgrauem Hintergrund werden immer ein Original und ein dazugehöriges, durch die Gestaltungsparameter verändertes, Bild nebeneinander gesetzt. Die Bilder werden mit einer Auflösung von 600 x 400 Pixeln (15 x 10 cm) präsentiert und als JPEG Format in RGB abgespeichert.

Um den Probanden nicht mit 48 Bilderpaaren zu überfordern, werden zwei Versuchsgruppen mit je 24 Bildpaaren angelegt. Ein Proband bekommt entweder das mit positivem oder negativem Gestaltungsparameter veränderte Bild zu sehen. Ob das Original auf der linken oder rechten Seite positioniert wird, ist unterschiedlich. Nach jedem Paar soll der Proband, ohne eine Kopfbewegung zu machen, ein Zeichen geben. Sobald er sich entschieden hat, wird durch den Versuchsleiter eine Graufäche eingeblendet. In diesem Zeitraum von etwa fünf bis zehn Sekunden soll der Proband dem Versuchsleiter mitteilen, ob ihm das linke oder rechte Bild besser gefallen hat.



Helligkeit (dunkler – heller) Hd/Hh



Schärfe (unschärfer – schärfer) S-/S+



Kontrast (ärmer - reicher) K-/K+



Farbneutralität (bläulicher – gelblicher) Nb/Ng

Abb. 3.7 Beispiele der Parameterbilder aus den Versuchen

Vorbereitung in Nyan 2.0

In dem Programm Nyan 2.0 wird zunächst ein neues Projekt angelegt. Dies geschieht durch auswählen von:

„New Projekt“ / „Mediashow Projekt“ / Ordner auswählen (in dem die Ergebnisse gespeichert werden) / „OK“

Nun sind die Bilder in gewünschter Reihenfolge in das Projekt einzufügen [Abb. 3.8]:

„Configure Mediashow Stimuli“ / „Add“ / „Images“ / Bilder auswählen (fertige Paarweise Vergleichsvorlagen)

„Order“ / hochgeladene Bilder auswählen und sortieren / „Save & Close“

Jetzt können die Probandenprofile angelegt werden, in denen der Proband sein Alter und sein Geschlecht einträgt. Jeder Proband bekommt zur Anonymisierung eine fortlaufende Nummer anstatt des eigenen Namens. Unter „Manage Subjects“ werden die Benutzerdetails im gewünschten Umfang eingetragen.

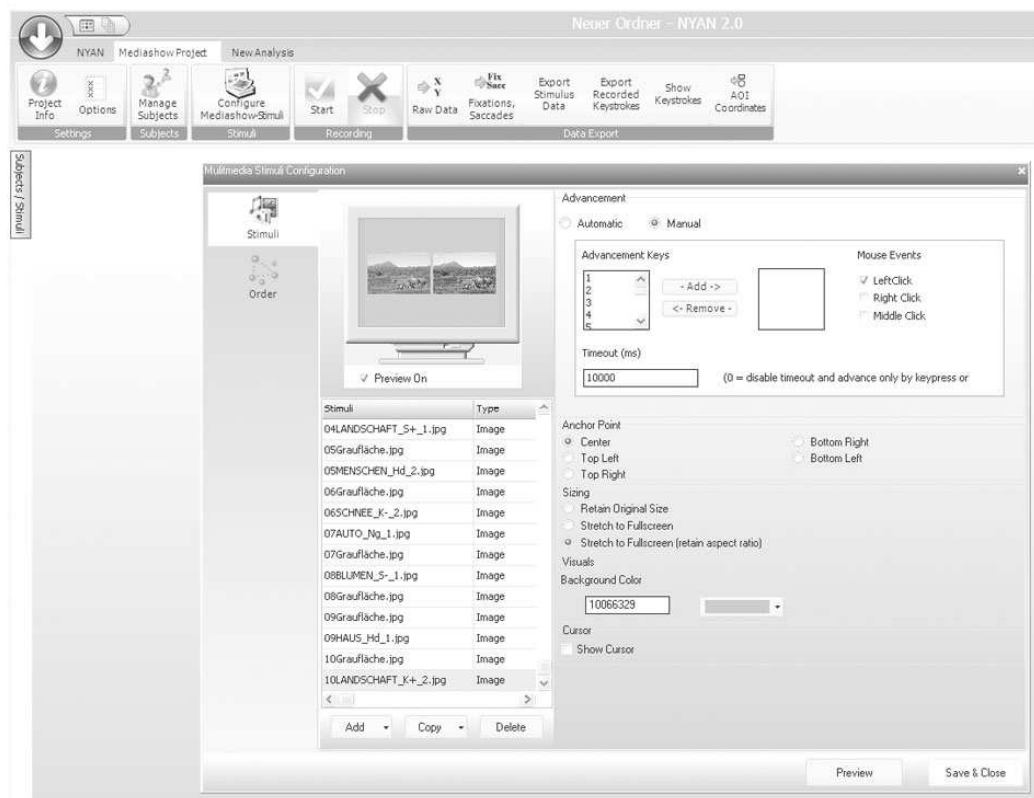


Abb. 3.8 Bilder in Nyan 2.0 festlegen.

Umgang mit den Probanden:

Eingeladen werden die Probanden zu Einzelterminen für die Dauer von einer Stunde. Damit der Proband eine Orientierung bekommt und sich wohl fühlt, wird ihm zunächst der Raum gezeigt und der Aufbau des Eye-Trackers erklärt. Anschließend bekommt der

Proband vom Versuchsleiter eine kurze und klare Anleitung zu dem Versuch, ohne dass der Versuchsleiter etwas über die Motive oder die Bildmanipulationen verrät.

Nach dem Versuch ist es wichtig, ein Feedback zum Ablauf zu bekommen. Hierzu werden die Probanden ausführlich interviewt.

Der Proband wird im Interview gefragt, ob

- er sich wohl gefühlt habe,
- der Stuhl bequem war,
- die Dauer des Versuches passend oder besser einige Pausen eingelegt werden sollten,
- die Aufgabenstellung verständlich war,
- das Licht und Klima im Raum angenehm waren,
- sowie sonstige Anmerkungen.

3.2.3 Hauptversuch

Nachdem im Vorversuch Aufbau und Ablauf des Versuchs auf seine Funktionstüchtigkeit überprüft wurde, sind im Hauptversuch die ROIs, in denen die Qualitätsentscheidung getroffen wird, herauszufinden.

Damit im Hauptversuch die exakt gleichen Bedingungen wie im Vorversuch vorliegen, findet der Versuchsablauf ebenfalls in der Fachhochschule Köln im gleichen Labor wie auch im Vorversuch statt.

Ebenfalls wird das Programm Nyan 2.0 inklusive der schon für den Vorversuch angelegten Probandenprofile und der exakt gleichen Reihenfolge, Auflösung und Größe der Bilder aus dem Vorversuch genutzt.

Checkliste für den Versuchsaufbau:

- Eye-Tracking System (Bildschirm, Rechner, Eye-Tracking Kameras, Augen-Kontrollmonitor, Tastatur, Maus)
- Block und Stift für Notizen inkl. einer Excelliste für die Antworten der Probanden mit allen Bildern in der richtigen Reihenfolge
- Stuhl mit Kopfstütze für den Probanden
- Stuhl für den Versuchsleiter (außerhalb des Sichtfeldes des Probanden)

Die Bilder:

Jeder Proband bekommt - wie auch im Vorversuch - nur 24 der 48 Bildvergleiche angezeigt. Diese Bildvorlagen werden aus dem Vorversuch übernommen.

Anforderungen an die Probandengruppe:

Anzahl:	20 Personen (zehn männlich, zehn weiblich) aufgeteilt in zwei Gruppen.
Alter:	30-40 Jahre.
Beruf:	Laien und Experten (in beiden Gruppen vorhanden).
Sehstärke:	Solange die Brille nicht zu stark verspiegelt ist, eingeschliffene Gläser hat oder Kontaktlinsen schlecht sitzen, sollten keine Probleme auftreten. Eine Farbblindheit sollte beim Probanden nicht vorhanden sein.
Rekrutierung:	In der Familie, im Freundeskreis und beim Arbeitgeber.
Anmerkung:	Die Probanden aus dem Vorversuch dürfen wegen der bereits bekannten Bilder nicht am Hauptversuch teilnehmen.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Vorversuch wird noch einmal auf die Einweisung der Probanden in das Eye-Tracking System und die Aufgabenstellung eingegangen. Auch die Gewöhnungszeit an die Laborumgebung soll etwas länger sein, um die Nervosität der Probanden zu nehmen.

Im Hauptversuch werden die Probanden ebenfalls zu Einzelterminen eingeladen und mit je mindestens einer Stunde eingeplant.

Nach den ersten Versuchen wird noch einmal kontrolliert, ob die ROIs auch hier wiederkehrend sind oder kein bestimmtes Schema existiert.

3.3 Materialien für die Auswertung

3.3.1 ROI - Region of Interest

Für die Auswertung sind zuerst die Punkte herauszufinden, bei denen die Entscheidung der Qualität getroffen wird. Das Programm Nyan 2.0 bietet hierfür eine Auswahl verschiedener Auswertungsmethoden an. Für diese Versuchsreihe eignet sich die Auswertung durch die AOI (Area of Interest). Hier werden im ganzen Bild Bereiche festgelegt. Je Bereich werden Daten ausgegeben, die angeben, wie oft der Proband diese Bereiche fixiert hat oder wie lange die gesamte Dauer der Fixationen in diesem Bereich ist.

Sind bestimmte Bereiche besonders oft fixiert worden, so werden drei dieser prägnanten Bereiche je Bild bestimmt, in denen später die Auswertung im Frequenz- und Farbbereich durchgeführt wird. Es ist darauf zu achten, dass der Proband einen echten Vergleich auf dem Bilderpaar durchgeführt hat. Schaut der Proband beim linken Bild auf beispielsweise einen Baum, so ist es nur dann ein Vergleich, wenn er auch beim rechten Bild auf exakt den gleichen Baum schaut und nicht beispielsweise auf die Blume daneben.

Im Folgenden geht es um die Festlegung der ROI Größe. Y. Uyargil [Uya11] hat speziell hierfür und damit für die weitere Auswertung im Frequenz- und Farbbereich Plug-Ins namens „ImageAnalyzer“ für das Programm ImageJ [ImJ11] in Java programmiert. Mit dem Tool „BuildStack.java“ (zu finden unter: „*Plugins*“ / „*ImageAnalyzer*“ / „*BuildStack*“) werden jeweils zwei Bilder, das Original und eines der Parameterbilder mit demselben

Motiv, in einem Stack⁵ geöffnet. Dies ermöglicht das Vor- und Zurückschalten der beiden Bilder, die übereinander liegen. Außerdem können in der weiteren Auswertungen Differenzbilder von diesen beiden Bildern erstellt werden.

Die Größe der ROIs sollen nicht zufällig festgelegt werden. Hierzu wurde folgende Rechnung [vgl. Ble11] im Zusammenhang mit dem 2° Normalbeobachter herangezogen.

2° Normalbeobachter mit 50 cm Abstand zur Augenkamera:

$$2^\circ = \frac{\pi}{180} * 2 = 0,0349 \text{ rad}$$

$$x = 50 * \tan(2^\circ) \approx 1,75 \text{ cm} \quad (3.1)$$

In Bezug auf die 50 cm Entfernung von Pupille bis zum Bildschirm ergibt sich also eine ROI von 1,75 cm. Das Plug-In für Festlegung der ROIs in ImageJ ist durch die Fouriertransformation auf 2" beschränkt, sodass sich ein ROI von 1,8 cm anbietet.

3.3.2 Frequenzen

Die Untersuchung im Frequenzbereich soll zeigen, ob sich in den ausgewählten ROIs der jeweiligen Parameterbilder in Bezug auf die Originalbilder prägnante Unterschiede ergeben.

Nachdem die von Y. Uyargil programmierten Plug-Ins im Freeware Programm ImageJ installiert wurden, wird das Programm geöffnet. Durch das Auswählen von „Plugins“ / „ImageAnalyzer“ / „AnalyzeFFT“ wird man aufgefordert, die zu untersuchenden Bilder zu öffnen. Hierzu wird erst das Originalbild und dann das dazugehörige Parameterbild in einem Stack geöffnet.

⁵ Stack ist eine Art Sammelordner oder auch -container in dem man mehrere Bilder der gleichen Größe übereinander legen und zwischen denen man Hin- und Herschalten kann.

Nun wird mit der rechten Maustaste genau auf einen der vorher festgelegten ROIs geklickt, dabei öffnet sich ein Fenster, „ToolBox“. Jetzt kann die vorher errechnete ROI-Größe ausgewählt werden.

Es öffnen sich fünf weitere Bilder [Abb. 3.9]:

- Gradienten Bild vom Originalbild
- Gradienten Bild vom Parameterbild
- Fourier transformiertes Bild vom Original
- Fourier transformiertes Bild vom Parameterbild
- Differenzbild aus dem Original und dem Parameterbild

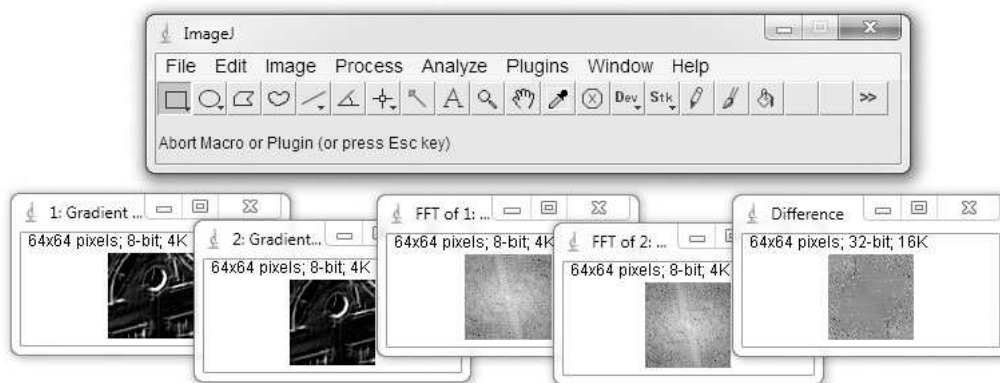


Abb. 3.9 Das Motiv Haus in Gradient-, Frequenz- und Differenzbilder dargestellt.

Die Verarbeitung in ImageJ läuft, wie unten auf dem Flussdiagramm [Abb. 3.10] nach Y. Uyargil, ab:

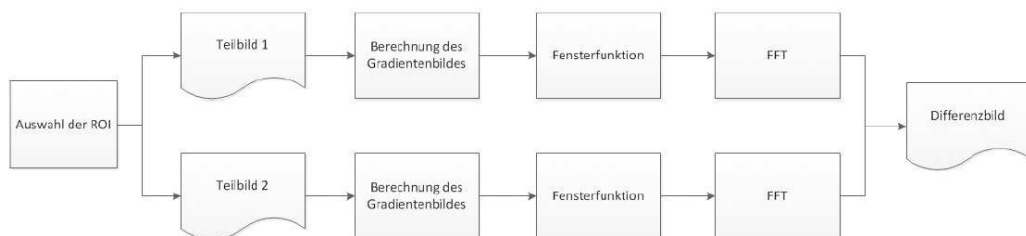


Abb. 3.10 Das Motiv Haus in Gradient-, Frequenz- und Differenzbilder dargestellt.

Das fouriertransformierte Bild, welches ausgewertet werden soll, wird als Zahlenmatrix geöffnet:

„Plugins“ / „ImageAnalyzer“ / „8bitToMatrix“

Es öffnet sich das Fenster „Results“ mit einer Matrix, die kopiert werden kann. In einem Tabellenkalkulationsprogramm (z.B. Microsoft Excel) kann diese Matrix geöffnet und für die Auswertung weiter bearbeitet werden.

3.3.3 L*a*b*-Farbraum

Eine weitere Untersuchung wird im Farbbereich durchgeführt. Hierzu bietet sich der CIELAB-Farbraum an, mit dem erst die Helligkeit und die Farbachsen als Bilder ausgegeben werden und anschließend der Farbabstand errechnet wird. Auch hier werden nach auswählen von

„Plugins“ / „ImageAnalyzer“ / „AnalyzeLAB“

erst das Originalbild und dann das Parameterbild in einem Stack geöffnet.

Nun wird ein ROI in der zuvor errechneten Größe festgelegt. Dieses Mal kann die ROI-Größe variabel geändert werden. Um aber die gleiche Ausgangsposition in beiden Auswertungsbereichen zu gewährleisten, sollte dennoch die gleiche Größe wie bei den FFT ROIs genommen und auf deren genaue Position geachtet werden.

Nach drücken von „OK“ öffnen sich zwei Stacks und ein Bild in Größe der ROI [Abb. 3.11]:

- Stack 1. – Originalbild: enthält das L*-Bild (Helligkeit), a*-Bild (rot-grün Achse) und b*-Bild (gelb-blau Achse)
- Stack 2. – Parameterbild: enthält das L*-Bild (Helligkeit), a*-Bild (rot-grün Achse) und b*-Bild (gelb-blau Achse)
- Delta E: Farbabstand von beiden Bildern

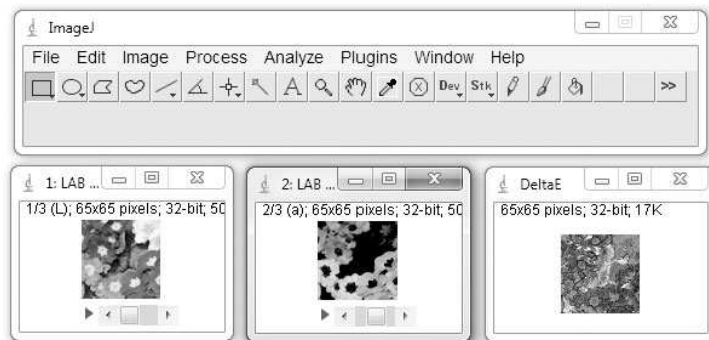


Abb. 3.11 Das Motiv Blumen in LAB und DeltaE dargestellt.

Das DeltaE Bild kann nun mit der Matrixfunktion ausgewertet werden.

3.3.4 statistische Grundlagen

Um eine wissenschaftliche Aussage zu treffen, wird bei empirischen Arbeiten die Statistik zu Hilfe genommen. Statistische Auswertungen betrachten meist eine große Anzahl von Einzeldaten aus Versuchen und verarbeiten diese in Formeln sowie grafischen Darstellungen zu einem interpretierbaren Ganzen. Bei einer statistischen Auswertung können sowohl mess- oder personenabhängige Fehler, als auch andere Auffälligkeiten festgestellt werden.

Arithmetischer Mittelwert

Der arithmetische Mittelwert μ wird im Allgemeinen oft Durchschnitt genannt. Hierbei werden alle ermittelten Messwerte addiert und deren Summe durch die Anzahl der Messungen dividiert. Mit μ für den Mittelwert; Einzelmesswert x und n für Anzahl der Messungen.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.2)$$

Standardabweichung

Die Standardabweichung σ gibt an, wie groß die Streuung der Daten um den Mittelwert ist. Je kleiner die Streuung um den Mittelwert ist, desto kleiner ist der Wert der Standardabweichung und umso repräsentativer ist der Mittelwert über alle Messungen.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (3.3)$$

Unsicherheit

Die Unsicherheit U trifft eine Aussage über die Zuverlässigkeit eines Mittelwerts. Zum Beispiel zeigt die Unsicherheit, ob eine statistische Trennung zwischen mehreren Mittelwerten existiert. Sind die einzelnen Mittelwerte mit jeweils einem Schritt der Unsicherheit in beide Richtungen immer noch voneinander getrennt, so liegt eine signifikante Trennung vor.

$$U_\mu = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.4)$$

Normalverteilung

Eine Normalverteilung zeigt die Wahrscheinlichkeit der Messwerte wie sie in der Realität auftreten können. Sie gibt die Standardabweichungen in mehreren Schritten prozentual an. So können laut der Normalverteilung 68,27% aller Messwerte im ersten Schritt, in beiden Richtungen um den Mittelwert herum, der Standardabweichung liegen. Zu einer Wahrscheinlichkeit von 95,45% in einer doppelten Standardabweichung und zu 99,73% liegen alle Messwerte innerhalb des dritten Schritts der Standardabweichung [vgl. Sac09]. Die sogenannten Ausreißer, Werte, die beispielsweise durch Messfehler entstehen, befinden sich außerhalb der zwei- bis dreifachen Standardabweichung [Abb. 3.12].

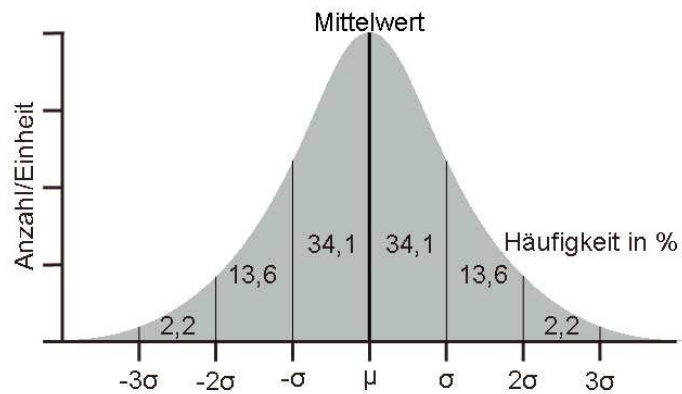


Abb. 3.12 Skizze einer Normalverteilung

Korrelation und Streudiagramm

Die Korrelation r zeigt, wie zwei statistische Variablen voneinander stochastisch abhängig sind. Gibt es eine Abhängigkeit, so ist der Korrelationskoeffizient > 0 , bei einer gegen-läufigen Entwicklung ist der Wert < 0 . Hängen die Variablen nicht voneinander ab, so ist das Ergebnis des Korrelationskoeffizienten gleich Null. Für eine anschauliche Darstellung empfiehlt sich ein Streudiagramm. Mit r für Korrelationskoeffizient und x bzw. y für die beiden zu prüfenden Messreihen.

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \mu_y)^2}} \quad (3.5)$$

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse Eye-Tracking

Dieses Kapitel bezieht sich auf den Versuchsaufbau und dessen Durchführung aus Kapitel „3.2.2 Vorversuch“ sowie „3.2.3 Hauptversuch“. Die daraus entstandenen ROIs wurden mit Hilfe des Kapitel „3.3.1 ROI - Region of Interest“ festgelegt.

4.1.1 Vorversuch

Im Vorversuch wurde der probandenfreundlichen Ablauf und die Funktionstüchtigkeit des Eye-Tracking Systems geprüft.

Probandenprofil

Der Versuch wurde in Gruppe A und B unterteilt und mit je zwei Probanden [Abb. 4.1] durchgespielt. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Ablauf im selben Labor wie im Hauptversuch aufgebaut ist und auch die Einstellungen, bis hin zur Bildabfolge, identisch sind. Einzige Vorgabe war, dass einer der Probanden eine Brille und ein anderer Kontaktlinsen tragen sollte.

Code	m/w	Alter	Beruf	Experte	Brille/Kontaktlinsen
VVA01	w	25	phil/theo Studentin	Nein	Kontaktlinsen
VVA02	m	33	medientechn. Student	Ja	nein
VVB01	w	21	medienwirtsch. Studentin	Nein	Brille
VVB02	w	26	medientechn. Studentin	Ja	nein

Legende:

Der Tabelleneintrag „Code“ bezeichnet eine Anonymisierung der Probanden Namen.

VV = Vorversuch

A, B = Gruppe A oder Gruppe B

01, 02 = Fortlaufende Nummer der Probanden

m/w = männlich/weiblich

Abb. 4.1 Probandengruppe - Vorversuch

Funktionstüchtigkeit des Eye-Tracking Systems

Im Ablauf des Versuches mit dem Eye-Tracking System ergaben sich weder bei der Kalibrierung noch bei der Funktionstüchtigkeit des Gerätes Probleme. Auch bei gut sitzenden Kontaktlinsen oder einer normalen Brille ohne eingeschliffene Gläser wurden keinerlei Schwierigkeiten seitens der Kalibrierung und Versuchsdurchführung festgestellt.

ROI-Ermittlung

Hier wurde zunächst kontrolliert:

- 1) ob es Fixpunkte gibt, auf denen der Proband einzelne Objekte im linken und rechten Bild verglichen hat.
- 2) ob sich diese Paarvergleiche auch bei anderen Probanden wiederfinden ließen.

Ergebnis: Die Auswertung bestätigte beide oben genannten Aussagen.

Probandenbefragung

„Haben Sie sich wohl gefühlt?“

Eine leichte Aufregung war bei zwei der vier Probanden vorhanden. Jedoch konnte man den Probanden mit der Erklärung, dass der Proband selber nicht bewertet wird und die Ergebnisse in anonymisierter Form verarbeitet werden, beruhigen.

„War die Dauer des Versuches zu lange und müssen noch einige Pausen eingelegt werden?“

Die Einzeltermine mit einer Zeit von etwa einer Stunde passten von der Zeitvorgabe sehr gut, da kein Zeitdruck gegeben war. Da der Eye-Tracking Versuch selbst nur 5 min dauerte, wurden durch die Probanden keine Pausen gewünscht.

„War das Licht und Klima im Raum in Ordnung?“:

Im Labor wurde die Lichtanlage mit der gleichmäßigen Ausleuchtung und dem dimmbaren Licht getestet. Der Proband wurde gefragt, wie hell/dunkel er das Licht am angenehmsten empfindet. Alle vier Probanden haben sich unterschiedlich entschieden. Im Hauptversuch wird auf die Lichtbedürfnisse der Probanden individuell eingegangen. Da es sich um einen

fensterlosen Raum handelte, empfahl es sich, den Raum in den Hauptversuchen vorher gründlich zu lüften.

„War der Stuhl bequem?“

Der Stuhl war für alle vier Probanden bequem. Einer der Probanden hat während des Versuches die Kopfstütze benutzt. Laut eigener Aussage konnte er den Kopf ansonsten nicht lange still halten.

„War die Aufgabenstellung verständlich?“

Alle Probanden empfanden die Aufgabenstellung als verständlich. Beim Hauptversuch wurde zusätzlich erwähnt, dass es sich bei diesem Versuch nicht um eine psychologische Auswertung im Sinne von „Vorlieben“ handelt. Da die Probanden in den Pausen zwischen den Vergleichspaaren zu einer Erklärung ihrer Entscheidung neigten, wurde im Hauptversuch deutlich gemacht, dass die Entscheidung für eines der beiden Bilder keinerlei Erklärung verlangt.

4.1.2 Hauptversuch

Im Hauptversuch wurden die ROIs bestimmt, in denen eine Qualitätsentscheidung getroffen wurde.

Probandenprofil

Für den Hauptversuch wurden je Gruppe fünf weibliche und fünf männliche Probanden [Abb. 4.2] ausgewählt; darunter acht Experten. Fünf der 20 Probanden trugen beim Versuch Kontaktlinsen, sechs eine Brille. Das Durchschnittsalter aller Probanden betrug zum Zeitpunkt des Versuches 31,5 Jahre.

Code	m/w	Alter	Experte	Brille/Kontaktlinsen
HVA01	w	37	Nein	-
HVA02	w	33	Ja	-
HVA03	w	29	Ja	-
HVA04	w	29	Nein	Kontaktlinsen
HVA05	w	37	Ja	Kontaktlinsen
HVA06	m	28	Nein	Brille
HVA07	m	33	Ja	-
HVA08	m	29	Ja	Brille
HVA09	m	33	Nein	-
HVA10	m	28	Nein	Kontaktlinsen
HVB01	w	29	Ja	Kontaktlinsen
HVB02	w	29	Nein	-
HVB03	w	28	Nein	Brille
HVB04	w	41	Nein	Kontaktlinsen
HVB05	w	31	Ja	-
HVB06	m	29	Nein	Brille
HVB07	m	31	Nein	-
HVB08	m	36	Ja	-
HVB09	m	29	Nein	Brille
HVB10	m	31	Nein	Brille

Legende:

Der Tabelleneintrag „Code“ bezeichnet eine Anonymisierung der Probanden Namen.

HV = Hauptversuch

A, B = Gruppe A oder Gruppe B

01, 02, 03, ... = Fortlaufende Nummer der Probanden

m/w = männlich/weiblich

Abb. 4.2 Probandengruppe - Hauptversuch

Fixationsdauer und Bildvergleichsdauer

Um die Durchschnittsdauer einer Fixation zu errechnen, wurde der Mittelwert über alle Fixationen bestimmt. Die Summe aller Fixationen, ausgenommen der Fixationen auf den Grauf Flächen, beträgt: 7.149. Dies ergab eine durchschnittliche Fixationsdauer von 288 ms.

Beachtet man die einzelnen Bilder über alle Probanden, so ergibt sich eine Durchschnittsdauer von 4,57 Sekunden je Bildpaar und eine Standardabweichung von 1,78 Sekunden. Ein Vergleich der Bilder in dieser Versuchsreihe dauerte also zwischen 2,79 und 6,35 Sekunden, ehe sich der Proband für eines der beiden Bilder entschied. Hier liegt eine

Normalverteilung [Abb. 3.12] vor, da 71% der Werte im ersten Schritt der Standardabweichung liegen, 96% im zweiten Schritt und sogar 100% im dritten Schritt.

Ermittlung der ROIs

Um die ROIs zu finden, wurde zunächst von jedem Motiv („Auto“, „Blumen“, „Haus“, ...) über alle zugehörigen Parameterbilder und Probanden eine Gesamtübersicht in Adobe Photo-shop erstellt. Anschließend wurde jeder einzelne Fixationspunkt auf dem Motiv markiert. Daraus resultierte die Grundlage für die Festlegung der Bereiche für die AOI-Auswertungsmethode [Abb. 2.4 a)] in Nyan 2.0.

Die Auswertung der AOI gibt die jeweilige Gesamtdauer der Fixationspunkte aus den festgelegten Bereichen aus. Hier wurde nun verglichen, ob ein echter Vergleich vorlag. Nur diese Vergleichszeiten wurden in einer Microsoft Excel-Tabelle namens „AOI-FixationsVergleich.xlsx“⁶ für die Gruppe A und B erfasst.

Es wurde als erstes geprüft, ob die Probanden bei einem Vergleichspaar länger auf das linke Bild oder das rechte Bild geschaut haben. Hierzu wurde von jedem der 48 Vergleichspaare die jeweiligen AOI-Zeiten vom linken und rechten Bild notiert und über alle Probanden die dort hingeschaut haben der Mittelwert μ (Formel 3.2), die Standardabweichung σ (Formel 3.3) und die Unsicherheit U_μ (Formel 3.4) berechnet.

Anschließend wurde überprüft, ob eine Überlappung von U_{links} und U_{rechts} existiert. Lag eine Überlappung vor, so wurde auf beide Bilder in etwa gleich lang geschaut. Lag eine signifikante Trennung vor, so wurde eines der beiden Bilder bevorzugt in Augenschein genommen.

Für die Festlegung der 3 ROIs je Motiv wurden Stellen gesucht, die am häufigsten in der ganzen Versuchsreihe fixiert wurden. Hier wurde nochmals die in Adobe Photoshop erstellte Gesamtübersicht zu Rate gezogen. In diesem Fall waren jedoch nur die echten Vergleiche mit Hilfe der Tabelle „AOI-FixationsVergleich.xlsx“ relevant. Das Ergebnis sind die ROIs [Abb. 4.3], die anschließend zur genaueren Analyse gebraucht werden.

⁶ Anmerkung: Die Tabellen „AOI-FixationsVergleich.xlsx“ und „AOI-Probandenmeinung.xlsx“ sind zu umfangreich um sie in dieser Arbeit abzubilden. Die kompletten Tabellen sind auf der beiliegenden CD zu finden.

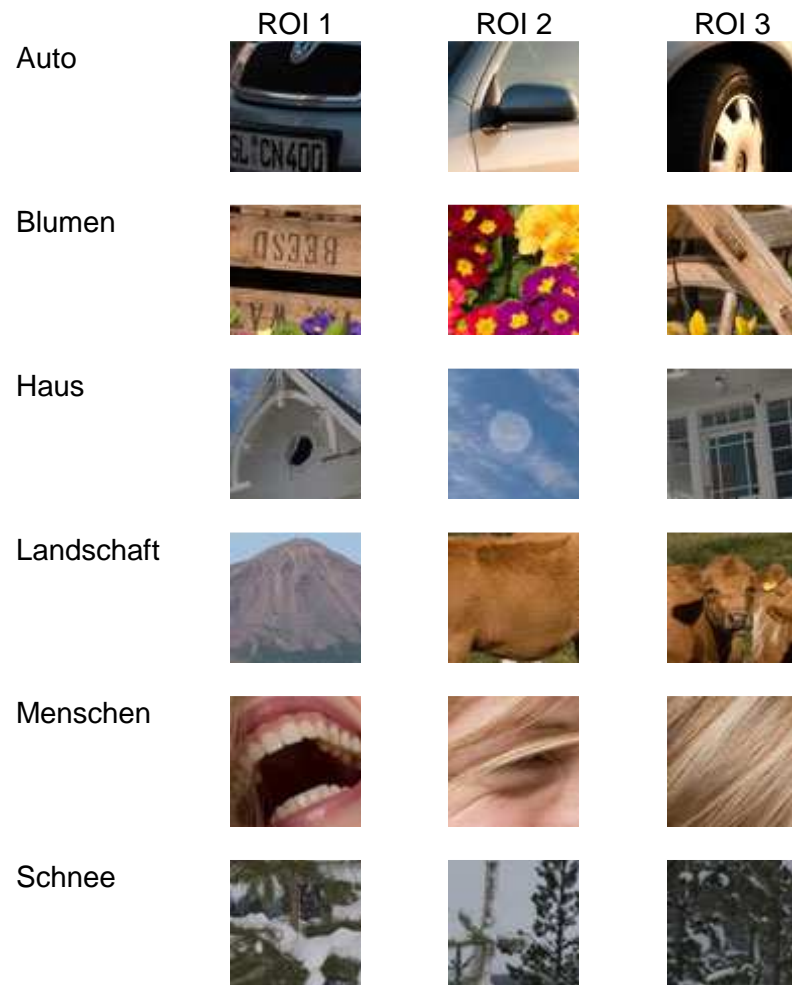


Abb. 4.3 Die ROIs

Motivbewertung

Die Probanden mussten zu jedem Vergleichspaar sagen, welches der beiden Bilder sie als schöner empfunden haben. Diese Meinung, siehe „AOI-ProbandenMeinungen.xlsx“, wurde festgehalten und in Zusammenhang mit „AOI-FixationsVergleich.xlsx“ gebracht, in der auch schon die Auswertung der ROIs stattgefunden hat. Es wurde also verglichen, ob die Probanden auf ihr als schöner empfundenes Bild länger geschaut haben, als auf das andere.

Der Auszug [Abb. 4.4] der Tabelle „AOI-ProbandenMeinungen.xlsx“ zeigt, dass zu 73% das als schöner bewertete Bild auch jenes ist, welches im Verhältnis zum anderen am längsten Fixiert wurde. Eine umfangreichere Auswertung zu diesem Thema ist nicht Teil dieser Diplomarbeit.

Gruppe A

Motiv	Parameter	zeitlich dominierendes Bild	Meinung		trifft zu / trifft nicht zu
			Original	Parameter	
AUTO	Hh_1	Original	100%	-	Ja
BLUMEN	K-2	Original	100%	-	Ja
HAUS	Nb_2	Parameter	80%	20%	Nein
LANDSCHAFT	S+_1	Original	30%	70%	Nein
MENSCHEN	Hd_2	Parameter	10%	90%	Ja
SCHNEE	K-_2	Original	100%	-	Ja
AUTO	Ng_1	Original	50%	50%	gleich
BLUMEN	S-_1	Parameter	70%	30%	Nein
HAUS	Hd_1	Original	80%	20%	Ja
LANDSCHAFT	K+_2	Parameter	20%	80%	Ja
MENSCHEN	Nb_2	Original	90%	10%	Ja
SCHNEE	S-_2	Original	60%	40%	Ja
AUTO	K+_1	Original	80%	20%	Ja
BLUMEN	Nb_1	Parameter	100%	-	Nein
HAUS	S-_2	Original	60%	40%	Ja
LANDSCHAFT	Hh_2	Original	100%	-	Ja
MENSCHEN	K+_1	Parameter	20%	80%	Ja
SCHNEE	Ng_1	Original	90%	10%	Ja
AUTO	S+_2	Parameter	30%	70%	Ja
BLUMEN	Hd_2	Original	80%	20%	Ja
HAUS	K-_1	Original	100%	-	Ja
LANDSCHAFT	Ng_2	Parameter	60%	40%	Nein
MENSCHEN	S+_1	Parameter	40%	60%	Ja
SCHNEE	Hh_2	Original	100%	-	Ja

Gruppe B

Motiv	Parameter	dominierendes Bild	Meinung		trifft zu / trifft nicht zu
			Original	Parameter	
AUTO	Hd_2	Parameter	90%	10%	Nein
BLUMEN	K+_1	Parameter	50%	50%	gleich
HAUS	Ng_2	Original	40%	60%	Nein
LANDSCHAFT	S-_2	Original	90%	10%	Ja
MENSCHEN	Hh_1	Original	100%	-	Ja
SCHNEE	K+_1	Original	60%	40%	Ja
AUTO	Nb_2	Original	90%	10%	Ja
BLUMEN	S+_2	Original	40%	60%	Nein
HAUS	Hh_1	Original	100%	-	Ja
LANDSCHAFT	K-_1	Original	100%	-	Ja
MENSCHEN	Ng_2	Original	50%	50%	gleich
SCHNEE	S+_2	Original	10%	90%	Nein
AUTO	K-_2	Original	100%	-	Ja
BLUMEN	Ng_1	Original	60%	40%	Ja
HAUS	S+_1	Parameter	40%	60%	Ja
LANDSCHAFT	Hd_1	Original	70%	30%	Ja
MENSCHEN	K-_2	Original	100%	-	Ja
SCHNEE	Nb_1	Parameter	90%	10%	Nein
AUTO	S-_1	Original	70%	30%	Ja
BLUMEN	Hh_2	Original	100%	-	Ja
HAUS	K+_2	Parameter	10%	90%	Ja
LANDSCHAFT	Nb_1	Original	100%	-	Ja
MENSCHEN	S-_1	Original	90%	10%	Ja
SCHNEE	Hd_1	Original	60%	40%	Ja

Legende:

Hd, Hh, K-, ... Parametereinstellungen

1 und 2 bezeichnen die Position des Parameterbildes. 1 = linkes Bild, 2 = rechtes Bild.

Abb. 4.4 Auszug aus der Tabelle „AOI-ProbantenMeinungen.xlsx“

4.2 Ergebnisse Frequenzen

Für die Frequenzauswertung wurden die ROIs in den Frequenzbereich überführt und die Differenz zwischen Original- und Parameterbild errechnet. Hierfür wurden die Frequenzbilder als Zahlenmatrix abgespeichert. Die Frequenzbilder bestehen aus Graustufen, die in der Matrix Werte für schwarz = 0 bis weiß = 255 annehmen. Über die ganze Matrix wurde der Mittelwert genommen und anschließend die Differenz zwischen

Original- und Parameterbild betrachtet. Eine Differenz zwischen den beiden Matrizen weist darauf hin, ob sich die Parameterbilder im Frequenzbereich innerhalb der ROIs signifikant geändert haben.

Die Tabelle [Abb. 4.5] zeigt die Differenzen der Parameter-ROIs zum Original-ROI. Es wurden alle Differenzen farbig markiert, die höher als der einfache Schritt der Standardabweichung $\mu \pm \sigma$ lagen.

Motiv	ROI Nummer	Hd	Hh	K-	K+	Nb	Ng	S-	S+
Schnee	1	11,38	9,32	1,93	4,32	4,71	4,88	12,5	9,38
	2	22,36	41,68	11,72	18,45	40,04	27,62	47,79	27,64
	3	1,4	7,84	3,57	2	16,43	20,48	12,04	3,13
Landschaft	1	9,28	0,26	8,42	19,55	0,86	3,01	0,5	1,15
	2	16,2	1,14	6,01	9,86	13,94	15,6	16,21	4,81
	3	11,68	22,41	9,45	14,21	4,92	3,33	0,01	2,5
Haus	1	6,14	0,72	10,13	1,55	17,03	5,04	4,14	8,7
	2	6,06	15,5	1,94	10,45	8,04	5,12	9,63	3,06
	3	5	12,97	5,41	2,82	11,85	2,35	0,09	6,05
Auto	1	4,9	7,76	2,14	12,66	10,88	0,06	2,88	21,86
	2	24,49	6,25	4,37	9,42	3,97	5,53	6,49	3,83
	3	7,39	9,46	12,83	12,33	3,39	11,83	21,87	12,98
Menschen	1	0,84	6,68	5,6	0,56	1,14	2,04	26,95	1,55
	2	6,09	13,69	1,94	5,43	15,59	14,2	19,69	21,89
	3	3,67	2,86	2,6	6,59	27,31	5,06	7,14	0,42
Blumen	1	9,08	0,54	6,45	1,44	2,66	19,52	24,03	19,18
	2	12,58	17,54	22,19	3,09	10,58	0,61	8,59	1,63
	3	6,36	8,44	0,4	12,44	11,17	6,67	0,29	22,49

Legende:

$\mu + \sigma$ Wert liegt oberhalb der Standardabweichung
 $\mu - \sigma$ Wert liegt unterhalb der Standardabweichung

Abb. 4.5 Auszug aus der Tabelle „Frequenzauswertung.xlsx“

Auffällig ist, dass alle „Schnee“ ROI 2 im Parameterbild einen Frequenzverlust durch die Parameterbearbeitung erlitten haben. Die Ausnahme stellt der Parameter Kontrast dar, der sich nicht signifikant auf die Frequenzen ausgeübt hat. Einen signifikanten Unterschied zum Original ROI zeigt vor allem die Frequenz des Hh „Schnee“ ROI 2 [Abb. 4.6], der außerhalb von $\mu + 3\sigma$ liegt. „Auto“ ROI 2 [Abb. 4.6] und „Blumen“ ROI 2 [Abb. 4.6] haben durch eine Bearbeitung mit den jeweiligen Parametern an Frequenz gewonnen.

Die Parametereinstellungen haben sich auf vereinzelte ROIs fast gar nicht ausgewirkt. Dies kann aber weder an einer Parametereinstellung noch an einem bestimmten ROI in Bezug gesetzt werden.

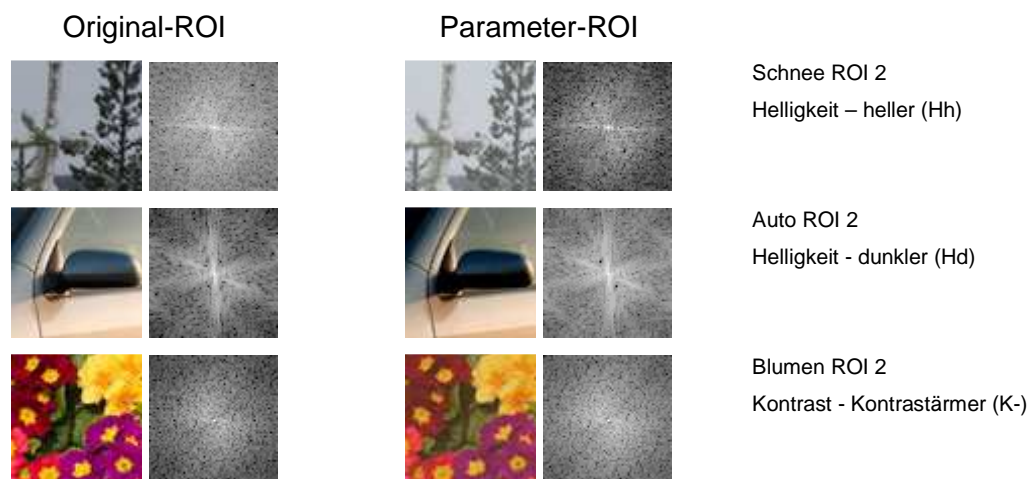


Abb. 4.6 Beispiele der auffälligen ROIs mit den jeweiligen Frequenzbildern

Korrelation

Erstens wurde überprüft, ob eine Korrelation verschiedener ROIs der Originalbilder mit den dazugehörigen Parameterbildern existiert [Abb. 4.7 und 4.8] und zweitens, ob es Parameterbilder gibt, welche untereinander korrelieren.

	Original	Hd	Hh	K-	K+	Nb	Ng	S-	S+
Original	-	0,22	-0,20	0,48	0,40	-0,14	0,15	-0,55	0,04
Hd	0,22	-	0,01	0,06	0,13	0,11	-0,32	-0,27	-0,29
Hh	-0,20	0,01	-	-0,20	0,18	0,41	0,13	-0,21	0,22
K-	0,48	0,06	-0,20	-	0,28	-0,44	-0,21	-0,36	-0,25
K+	0,40	0,13	0,18	0,28	-	0,01	-0,11	-0,52	0,20
Nb	-0,14	0,11	0,41	-0,44	0,01	-	0,23	0,14	-0,09
Ng	0,15	-0,32	0,13	-0,21	-0,11	0,23	-	0,18	0,48
S-	-0,55	-0,27	-0,21	-0,36	-0,52	0,14	0,18	-	0,11
S+	0,04	-0,29	0,22	-0,25	0,20	-0,09	0,48	0,11	-

Abb. 4.7 Korrelation zwischen den einzelnen ROIs

Auf den Streudiagrammen [Abb.4.8] konnte festgestellt werden, dass der Kontrast in beiden Fällen, also mehr K+ und weniger Kontrast K-, mit dem Originalbild korreliert. Die Korrelationskoeffizienten liegen bei 0,40 für K+ und 0,48 für K-. Der Parameter S- zeigt mit -0,55 eine negative Korrelation. Diese ROIs wichen nach ihrer Bearbeitung mit dem Parameter S- vom Original ab. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass der Parameter Nb, mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,41, sich ähnlich wie der Parameter Hh verhält. Voneinander abweichend sind vor allem die Parameter Nb von dem Parameter K- und der Parameter S- von K+.

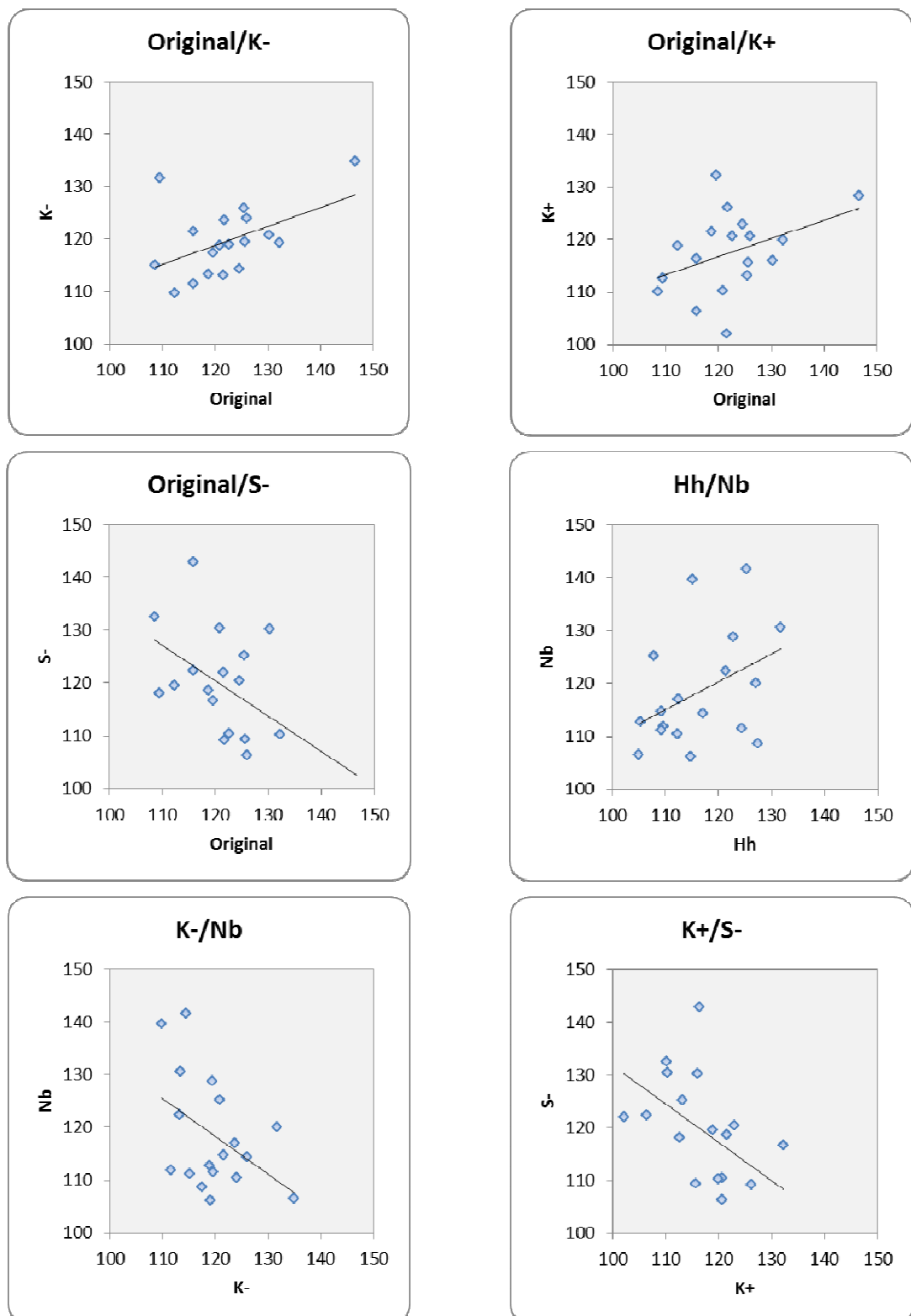


Abb. 4.8 Beispiele der Streudiagramme

4.3 Ergebnisse L*a*b*

Für die Auswertung im Farbbereich wurden die ROIs erst in die einzelnen L*a*b* Bilder umgewandelt, anschließend wurde der Farbabstand (DeltaE) beider ROIs als Differenzbild ausgegeben. Dieses Bild wurde, genau wie bei der Frequenzauswertung, in eine Matrix umgewandelt und berechnet.

Die Tabelle [Abb. 4.9] zeigt die Differenzen der Parameter-ROIs zum Original-ROI im L*a*b*-Bereich. Auch hier wurden alle Differenzen farbig markiert, die außerhalb der ersten Standardabweichung $\mu \pm \sigma$ lagen.

Motiv	ROI Nummer	Diagramm Beschriftung in Abb. 4.11	Hd μ	Hh μ	K- μ	K+ μ	Nb μ	Ng μ	S- μ	S+ μ
Schnee	1	1	15,19	21,78	13,85	15,77	10,16	11,05	1,71	2,66
	2	2	12,72	19,55	9,59	9,46	8,76	9,52	1,94	3,11
	3	3	16,55	25,75	19,45	17,23	12,07	13,55	1,66	2,66
Landschaft	1	4	12,31	18,30	4,80	4,39	7,91	8,41	1,04	1,36
	2	5	15,14	23,53	15,98	14,16	11,09	9,79	1,54	2,32
	3	6	15,90	24,10	14,79	12,72	11,73	10,48	1,77	2,86
Haus	1	7	13,29	20,46	5,74	5,41	8,90	9,34	1,25	1,82
	2	8	12,59	19,19	5,43	4,75	6,31	6,80	1,01	1,20
	3	9	14,80	22,84	7,19	7,81	10,25	11,00	1,41	2,38
Auto	1	10	10,85	28,28	17,35	8,78	11,34	11,27	1,83	2,83
	2	11	10,55	17,15	8,35	6,77	7,70	7,97	1,52	2,48
	3	12	7,82	27,40	18,43	6,52	10,32	8,75	1,70	3,39
Menschen	1	13	14,56	23,68	7,95	7,38	11,63	10,96	1,42	2,14
	2	14	12,10	17,58	8,01	6,78	8,26	8,17	1,59	2,31
	3	15	13,15	18,59	7,68	6,66	8,56	8,93	1,91	3,04
Blumen	1	16	11,79	22,12	8,98	5,41	9,75	9,40	1,99	3,29
	2	17	14,10	23,74	13,81	8,74	10,00	8,35	2,19	4,63
	3	18	13,87	20,59	8,85	7,99	9,95	9,30	2,04	3,33

Legende:

$\mu + \sigma$ Wert liegt oberhalb der Standardabweichung
 $\mu - \sigma$ Wert liegt unterhalb der Standardabweichung

Abb. 4.9 Auszug aus der Tabelle „Farbauswertung.xlsx“

Auffällig ist die Streuung der DeltaE-Werte außerhalb der einfachen Standardabweichung. Diese fällt hier größer aus als im Frequenzbereich. Besonders betroffen ist ROI 3 des Motivs „Schnee“. Auch die Motive „Auto“ (ROI 1 und 3) und „Landschaft“ (ROI 2 und 3)

zeigen durch die Bearbeitung einiger Parameter eine signifikante Änderung im Farbbereich. Im Motiv „Haus“ lassen sich hingegen kaum Einflüsse auf den Farbbereich feststellen. Dies wird durch zahlreiche Werte unterhalb der Standardabweichung in ROI 1 und 2 deutlich. Das Motiv „Blumen“ weist lediglich im Bereich der Schärfe starke Abweichungen oberhalb der Standardabweichung in allen drei ROIs auf. Die restlichen Werte liegen innerhalb der Toleranz der Standardabweichung. Innerhalb des dritten Schrittes der Standardabweichung $+3\sigma$, und damit hochsignifikant, sind im Motiv „Schnee“ [Abb.4.10] die Parameter K+ (ROI 3) und Ng (ROI 3), sowie im Motiv „Blumen“ der Parameter S+ (ROI 2) [Abb.4.10].

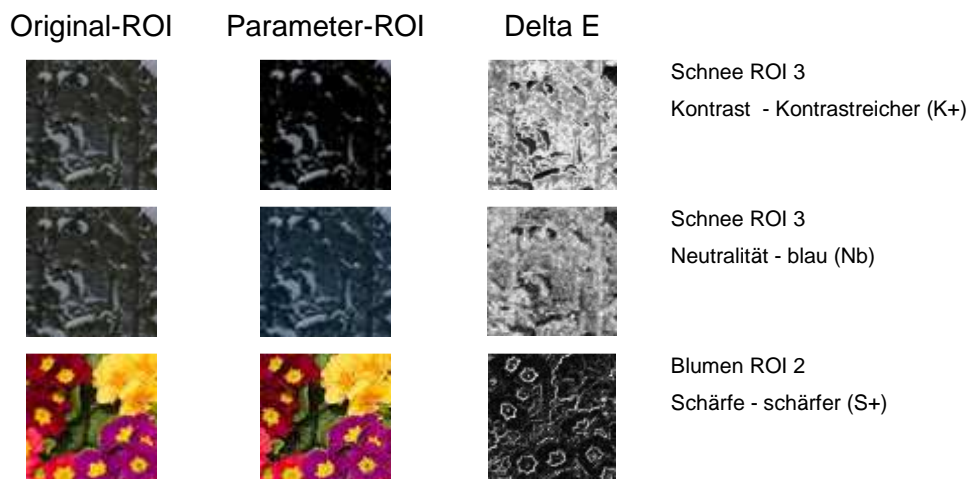


Abb. 4.10 Beispiele der auffälligen ROIs

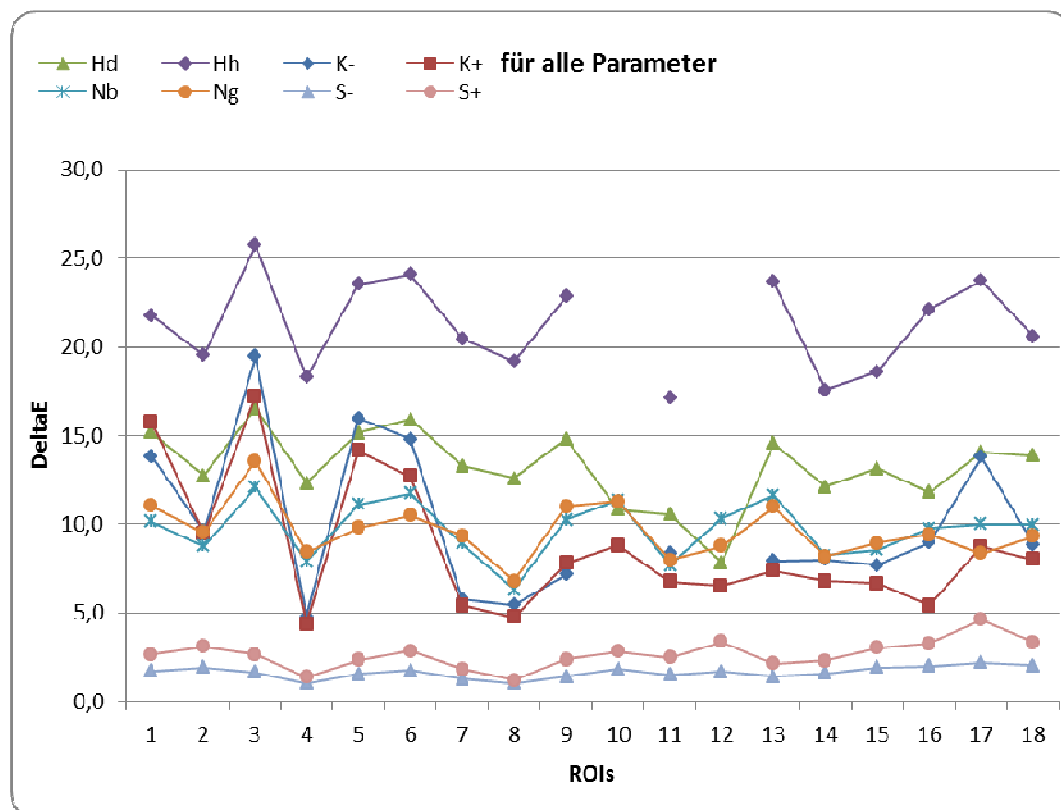


Abb. 4.11 DeltaE der Parameter ROIs

Aus dem Diagramm [Abb. 4.11] lässt sich ein großer allgemeiner Einfluss des Parameters Hh auf die Original-ROI entnehmen. Im Gegensatz dazu üben die Schärfe-Parameter S+ und S- keinen großen Einfluss auf das Originalbild aus.

Korrelation

	Hd	Hh	K-	K+	Nb	Ng	S-	S+
Hd	-	0,85	0,71	0,65	0,43	0,55	0,02	-0,06
Hh	0,85	-	0,72	0,65	0,89	0,75	0,26	0,33
K-	0,71	0,72	-	0,92	0,73	0,63	0,45	0,46
K+	0,65	0,65	0,92	-	0,65	0,72	0,28	0,21
Nb	0,43	0,89	0,73	0,65	-	0,83	0,39	0,38
Ng	0,55	0,75	0,63	0,72	0,83	-	0,19	0,11
S-	0,02	0,26	0,45	0,28	0,39	0,19	-	0,94
S+	-0,06	0,33	0,46	0,21	0,38	0,11	0,94	-

Abb. 4.12 Korrelation der Parameter ROIs

Die Korrelationskoeffizienten der verschiedenen Parameter zeigen in den meisten Fällen eine sehr viel höhere Abhängigkeit untereinander, als es im Frequenzbereich zu beobachten war. Es wurde festgestellt, dass die jeweiligen zugehörigen Parameter untereinander sehr stark miteinander korrelieren [Abb. 4.13]. Besonders der Parameter Schärfe S- und S+ mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,94 und Kontrast K- und K+ mit 0,92 weisen nahezu eine absolute Abhängigkeit voneinander auf. Auf den Streudiagrammen [Abb.4.13 und 4.14] kann man, bis auf eine Ausnahme zwischen Hd und S+ mit -0,06, durchweg positive Korrelationen erkennen, die leicht bis stark ausfallen. Erwähnenswert ist auch die Korrelation zwischen Hh und Nb, die mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,89 sehr stark voneinander abhängig sind. Die Parameter S+ und S- korrelieren meist nur leicht mit den anderen Parametern, da sie sich, wie auf der Grafik [Abb. 4.11] zu erkennen, gleichmäßig im Vergleich zu den anderen ROIs ausgewirkt haben und somit keinen großen Schwankungen innerhalb der verschiedenen ROIs unterlegen sind.

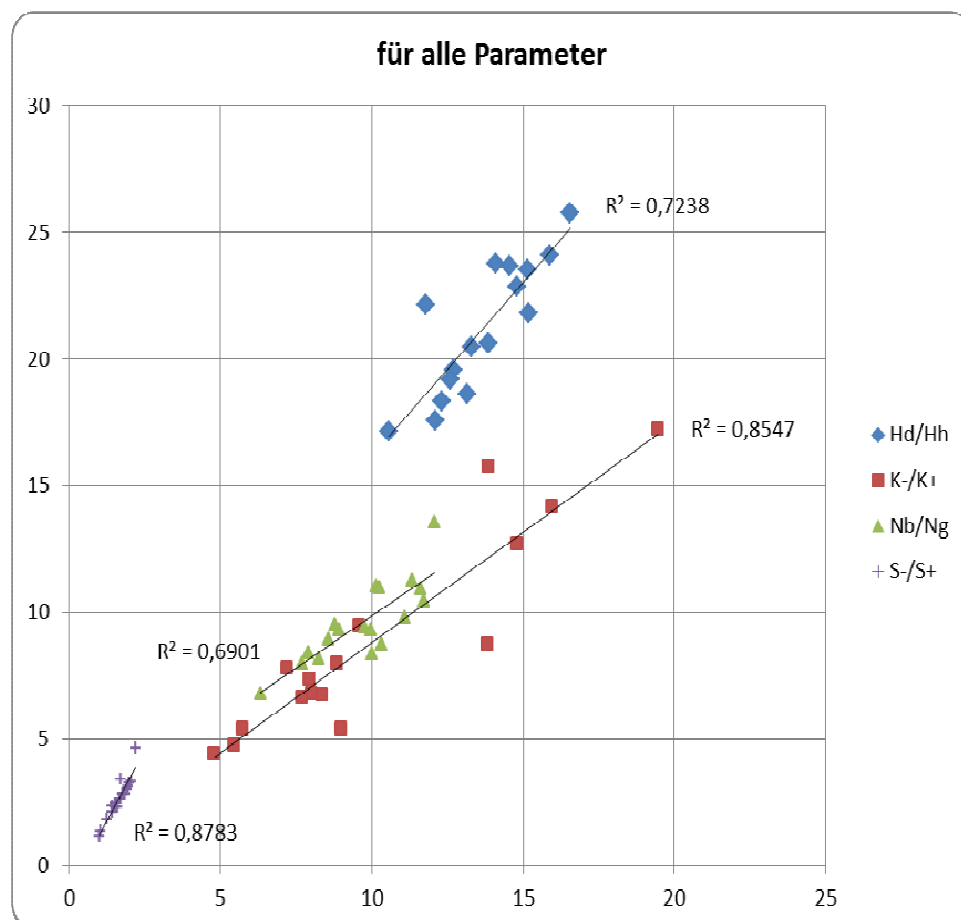


Abb. 4.13 Korrelation der Parameter ROIs von Helligkeit, Kontrast, Neutralität und Schärfe

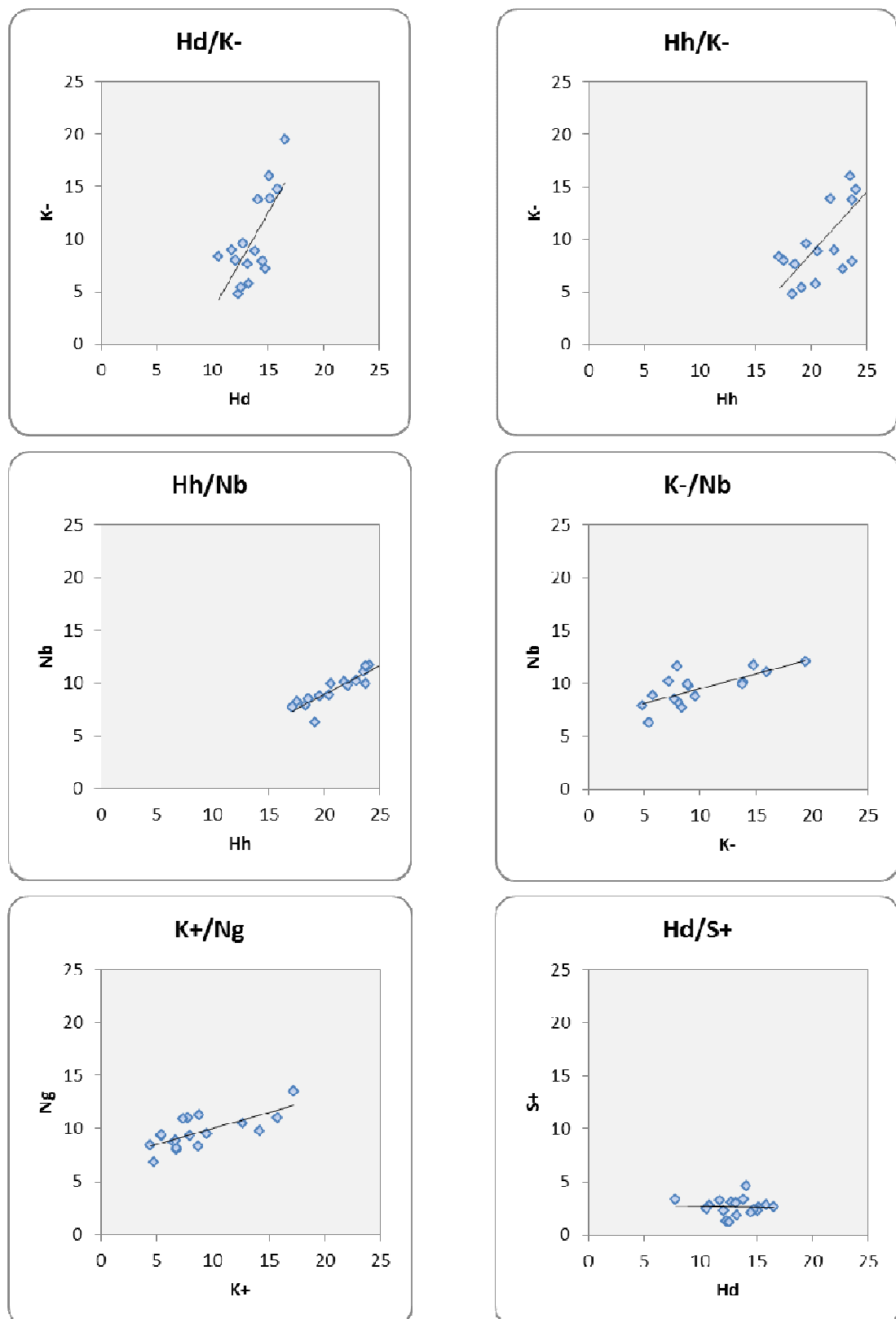


Abb. 4.14 Beispiele der Streudiagramme

5. Diskussion

Die Versuchsreihe hat ein insgesamt zufriedenstellendes Ergebnis herausgebracht. Diese Arbeit hat eine Grundlage für eine weitere Untersuchung im Farbbereich geschaffen.

Durch die genaue vorherige Recherche sowie durch ein Interview mit einem Psychologen zum Thema Probandenbetreuung waren nach dem Vorversuch keinerlei bedeutsame Veränderungen für den Hauptversuch nötig. Es musste lediglich in geringem Maße auf eventuell vorhandene Ängste der Probanden eingegangen werden. Das Eye-Tracking System erwies sich ebenfalls allen Anforderungen gewachsen und ist ein empfehlenswertes Instrument für allerlei weitere Forschungen in diesem Bereich.

Die Auswahl der ROIs konnte, bis auf wenige Ausnahmen, sehr deutlich herausgefiltert werden, da die Probanden einige Motivinhalte wiederholt fixierten. Die Auswahl der Auswertungsmethode sollte allerdings mit gewisser Vorsicht geschehen. Hier wurde erst die Blickpfadanalyse genutzt, die den ersten und letzten Fixationspunkt nicht berücksichtigte. Diese wurden jedoch in der tabellarischen Auswertung und in der Auswertung der AOIs einbezogen.

Die Auswertung im Frequenzbereich ergab, dass der einzige ROI, der im Frequenzbereich angesprochen wurde, der „Schnee ROI2“ ist. Es konnte ansonsten keine signifikante Auswirkung der Änderung mit den Parametern im Frequenzbereich festgestellt werden. Auch die Auswertung der Korrelation brachte kein nennenswertes Ergebnis. Am Anfang wurde eine Einzelauswertung der hohen, mittleren und niedrigen Frequenzen angestrebt. Hier gab es allerdings keinen relevanten Unterschied zu der durchgeführten Komplettauswertung.

Für die Auswertung im Farbbereich wurde zuerst in einer Vorarbeit das HSB Farbmodell vorgeschlagen. Dieses stellte sich jedoch als ungeeignet heraus, da es lediglich eine Grafik als Ausgabe anbot, allerdings keinen Zahlenwert dazu ausgab. Zu diesem Zweck war ein anderes System erforderlich, um eine technisch geeignete Ausgabe zu erhalten. Daraufhin wurde das L*a*b*-Farbsystem ausgewählt.

Bei der Betrachtung ergaben sich im Farbbereich stärkere Auffälligkeiten als im Frequenzbereich. Es wurde deutlich, dass die Parametereinstellungen der Helligkeit, die auf die

Bilder angewendet wurden, einen sehr großen Einfluss auf die Auswertung im Farbbereich haben; die Schärfe hingegen hat weniger Einfluss darauf.

Da diese Diplomarbeit eine Grundlage für das Thema geben konnte, bietet es sich an, die Untersuchungen im Farbbereich fortzuführen. Diese sollten jedoch mit bis zu 200 ROIs durchgeführt werden [Ble11]. Zur Vereinfachung könnte eine Stapelverarbeitung programmiert werden. Es ist möglich, dass besonders auf dunkleren oder farbintensiveren Bildern ein auffälliges Ergebnis erzielt wird.

Was genau ist ursächlich für die Auffälligkeiten im Farbbereich? Ein Vergleich von Farben, glänzenden metallischen Flächen, Farbverläufen oder feinen sowie groben Strukturen und Mustern könnte hier aufschlussreich sein. In der Arbeit von C. Hempe wurde entdeckt, dass ein Abdunkeln der Bilder empfehlenswert ist. Da in dieser Arbeit die Helligkeit ebenfalls eine große Rolle spielt, wäre in einer Großfeldstudie zu verifizieren, ob hier ein Zusammenhang festgestellt werden kann.

Das Plug-In im Programm ImageJ könnte weiter entwickelt werden, indem eine optische Darstellung mit Verschiebungsvektoren des Farbabstandes zwischen Original- und Parameterbild in einem Koordinatensystem ausgegeben wird. Eine weitere Möglichkeit bestünde in einer Studie über den Unterschied der ROI Verlagerung zwischen Experten und Laien. Eine Analyse der Dauer eines Fixationspunktes ergab im Zusammenhang zwischen Experte und Laie aufgrund zu weniger Probanden kein befriedigendes Ergebnis. In einer Großstudie wäre es interessant zu prüfen, was der Proband unmittelbar vor seiner Entscheidung fixiert hat und ihn dann anschließend zu befragen, was der ausschlaggebende Grund seiner Entscheidung gewesen ist.

Abkürzungsverzeichnis

ROI	Region of Interest (Bereich von Interesse)
CIE	Commision Internationale de l'Eclairage, 1931
AOI	Area of Interrest (Auswertungsmethode im Programm Nyan2.0)
Hd	Delta D/Helligkeit dunkler
Hh	Delta D/Helligkeit heller
K+	Gamma/Kontrast rein
K-	Gamma/Kontrast raus
Nb	Neutralität blau
Ng	Neutralität gelb
S+	Schärfe schärfer
S-	Schärfe unschärfer

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1	Eigener Screenshot. Histogramm (Adobe Photoshop CS).	1
Abb. 2.2 a) bis c)	Screenshots (in schwarz-weiß). Internet, Humboldt Universität Berlin, http://www2.hu-berlin.de/reha/eye/Technische%20Prinzipien_Eye.pdf [Stand: Februar 2012]	8-9
Abb. 2.3	Eigene Fotografie. Verwendetes Eye-Tracking System.	9
Abb. 2.4 a) bis c)	Eigene Screenshots. Beispiel aus dem Vorversuch (Programm Nyan 2.0.).	9-10
Abb. 2.5	Screenshot. UNI Münster, http://cvpr.uni-muenster.de/teaching/ws06/bildverarbeitungWS06/script/BV05-2.pdf [Stand: Februar 2012]	12
Abb. 2.6	Screenshot. Wikipedia - Die freie Enzyklopädie, Ersteller des Bildes: Anton. (frei verfügbares Bild) http://de.wikipedia.org/wiki/Diskrete_Fourier-Transformation [Stand: Februar 2012]	12
Abb. 2.7	Bild. Farbmessung. Farbmaßzahlen. DIN-Norm 5033-3, 1992.	13
Abb. 2.8	Bild. J. J. Marchesi. Handbuch der Fotografie. Verlag Photographie, 1998. 2. Überarbeitete Auflage, 2005. Band 3.	14
Abb. 3.1	Eigene Bilder. Versuchsreihe - Originalbilder.	16
Abb. 3.2	Eigene Fotografie. Verwendete Augenkameras.	19
Abb. 3.3	Eigener Screenshot. Einstellung der Augenkameras (Nyan 2.0).	20
Abb. 3.4	Eigener Screenshot. Kalibrierung der Augenkameras (Nyan 2.0).	21
Abb. 3.5	Eigene Fotografie. Die Laborumgebung.	22
Abb. 3.6	Tabelle. Einstellstufen der Parameterbilder.	23
Abb. 3.7	Bilder. Beispiele von Parameterbildern aus den Versuchen.	24
Abb. 3.8	Eigener Screenshot. Bilder im Programm Nyan 2.0 festlegen.	25
Abb. 3.9	Eigener Screenshot. Gradient-, Frequenz- und Differenzbilder vom Original und Parameterbild (ImageJ).	30
Abb. 3.10	Bild. Y. Uyargil. Image-Analyzer. Projekt-Arbeit, Fachhochschule Köln, 2011.	30

Abb. 3.11	Eigener Screenshot. LAB und DeltaE Bilder von Original und Parameterbild (ImageJ).	32
Abb. 3.12	Eigene Grafik. Die Normalverteilung.	34
Abb. 4.1	Tabelle. Probandengruppe – Vorversuch.	35
Abb. 4.2	Tabelle. Probandengruppe – Hauptversuch.	38
Abb. 4.3	Bilder. Die ROIs.	40
Abb. 4.4	Tabelle. Auszug aus „AOI-ProbandenMeinungen.xlsx“.	41-42
Abb. 4.5	Tabelle. Auszug aus „Frequenzauswertung.xlsx“.	43
Abb. 4.6	Bilder. Beispiele der auffälligen ROIs (Frequenzen).	44
Abb. 4.7	Tabelle. ROI Korrelation der Frequenzauswertung.	44
Abb. 4.8	Diagramme. Beispiele Frequenz Streudiagramme.	46
Abb. 4.9	Tabelle. Auszug aus „Farbauswertung“.	47
Abb. 4.10	Bilder. Beispiele der auffälligen ROIs (Farbe).	48
Abb. 4.11	Diagramm. DeltaE der Parameter ROIs.	49
Abb. 4.12	Tabelle. ROI Korrelation der Farbauswertung.	49
Abb. 4.13	Diagramm. Korrelation der Parameter ROIs.	50
Abb. 4.14	Diagramme. Beispiele LAB Streudiagramme.	51

Literaturverzeichnis

- [Ach10] J. Achatzi. Entwicklung eines Systems zur Bildqualitätsanalyse. Bachelorarbeit, Fachhochschule Köln, 2010.
- [Ble11] Prof. Dr. Blendl. In einer privaten Mitteilung, 2011/2012.
- [Deb97] C. Debus. Experimentelle Untersuchungen zur objektiven Bildgüte kommerzieller Farbnegativmaterialien. Diplomarbeit, Fachhochschule Köln, 1997.
- [DIN5033-1] Farbmessung. Grundbegriffe der Farbmetrik. DIN-Norm 5033-1, 2009.
- [DIN5033-2] Farbmessung. Normalvalenz-Systeme. DIN-Norm 5033-2, 1992.
- [DIN5033-3] Farbmessung. Farbmaßzahlen. DIN-Norm 5033-3, 1992.
- [DIN5487] Fourier-, Laplace- und Z-Transformation. DIN-Norm 5487, 1988.
- [DIN6174] Farbmetrische Bestimmung von Farbmaßzahlen und Farbabständen im angenähert gleichförmigen CIELAB-Farbenraum. DIN-Norm 6174, 2007.
- [EAS09] Eyegaze Analysis System™. Bedienungsanleitung, 2009.
- [Grü11] Diplom Psych. T. O. J. Gründler. Mitarbeiter Max Planck Institut for Neurological Research. In einem persönlichen Gespräch, 2011.
- [Hem10] C. Hempe. Psychometrische Evaluierung der Bildqualität von Photoprints. Diplomarbeit, Fachhochschule Köln, 2010.
- [HUB12] G. Schneider, J. Kurt. Humboldt Universität Berlin, http://www2.hu-berlin.de/reha/eye/Technische%20Prinzipien_Eye.pdf [Stand: Februar 2012]
- [ImJ11] Programm ImageJ. <http://rsb.info.nih.gov/ij/> [Stand: Januar 2012]
- [Int11] Interactive Minds – Eye Tracking Solutions. <http://www.interactive-minds.com/de/eyetracker/eyegaze-analysis-system> [Stand: Januar 2011]
- [Lük95] H D. Lücke. Signalübertragung. Grundlagen der digitalen und analogen Nachrichtenübertragungssysteme. Springer-Lehrbuch, 1995.

- [Mar05] J. J. Marchesi. Handbuch der Fotografie. Verlag Photographie, 1998. 2. Überarbeitete Auflage, 2005. Band 3.
- [Sac09] L. Sachs, J. Hedderich. Angewandte Statistik. Springer-Verlag, 2009.
- [Sch98] G. Schröder. Technische Optik. Vogel Fachbuch – Kamprath-Reihe, 1974. 8. Überarbeitete Auflage, 1998.
- [Sco11] Scoreberlin® - Usability & User Experience.
<http://www.scoreberlin.de/eyetracking/nyan/> [Stand: Dezember 2011]
- [USc09] U. Schmidt. Professionelle Videotechnik. Springer, 2009. 5. Aktualisierte und erweiterte Auflage, 2009.
- [Uya11] Y. Uyargil. Image-Analyzer. Projekt-Arbeit, Fachhochschule Köln, 2011.
- [Zie07] R. Zierl. Technische Fotografie. Für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. Pearson Studium, 2007.

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Sonja Schulte, versichere hiermit eidesstattlich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit in dem gemeldeten Zeitraum selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Köln, 29.02.2012

Sonja Schulte

Weitergabe Erklärung

Ich erkläre hiermit mein Einverständnis, dass das vorliegende Exemplar meiner Diplomarbeit oder eine Kopie für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden darf.

Köln, 29.02.2012

Sonja Schulte